



**PENGEMBANGAN METODE PREDIKSI
KELONGSORAN PADA LERENG BERBASIS
ALGORITMA *EDGE DETECTION* DAN METODE
FOTOGRAMETRI**

EGA JULIA FAJARSARI

99219028

PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS GUNADARMA

2021

ABSTRAK

Longsoran merupakan salah satu masalah yang banyak terjadi pada lereng alam maupun buatan, dan merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, terutama pada musim hujan. Kajian mengenai pergerakan tanah/longsor telah menarik banyak perhatian dari berbagai pihak. Kajian tersebut dapat secara efektif membantu pihak berwenang untuk melakukan langkah – langkah pencegahan dan mengurangi risiko kegagalan atau sistem peringatan dini. Di tengah perkembangan teknologi yang semakin pesat dewasa ini, tidak dapat dipungkiri telah membuat siklus akan kebutuhan komputerisasi di segala aspek pun mengalami peningkatan. Tak terkecuali pada bidang Teknik Sipil, salah satunya adalah analisis kestabilan lereng, hasil analisis akan di dapat lebih cepat dengan memperhitungkan kondisi dari lereng tersebut jika proses analisis dilakukan dengan cara komputerisasi dibandingkan dengan analisis yang diperoleh dari berbagai metode konvensional. Salah satu metode komputerisasi yang dapat digunakan adalah pengolahan citra digital. Pada penelitian ini akan dikembangkan metode prediksi kelongsoran pada lereng berdasarkan retakan menggunakan Algoritma *Edge Detection* dan Metode Fotogrametri agar dapat membantu pihak terkait atau pemerintah daerah dalam pencegahan terhadap kelongsoran untuk daerah rawan longsor.

Kata Kunci : longsoran, retakan, Algoritma *Edge Detection*, Metode Fotogrametri

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Kontribusi Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengolahan Citra Digital	4
2.1.1 Jenis Citra Digital	4
2.1.2 Elemen – Elemen Citra Digital	6
2.2 Operasi Pengolahan Citra	7
2.3 <i>Edge Detection</i>	8
2.4 Fotogrametri	11
2.4.1 Kegunaan Fotogrametri	12
2.5 Foto Udara.....	13
2.5.1 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV)	14
2.5.2 Desain Jalur Terbang.....	15
2.5.3 Titik Kontrol Tanah (<i>Ground Control Point</i>)	16
2.6 Analisis Kestabilan Lerang	16
2.6.1 Faktor – Faktor Dalam Menganalisis Kestabilan Lereng.....	18
2.6.2 Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Ketidakstabilan Lereng	19

2.7	Faktor Keamanan Lereng.....	20
2.8	Analisi Faktor Kemanan Lereng	20
2.9	Kelongsoran Lereng	22
2.10	Pengaruh Keretakan Terhadap Kelongsoran Lereng	27
2.11	Studi Literatur.....	30

BAB 3 METODOLOGI

3.1	Tahapan Penelitian.....	42
3.1.1	Studi Literatur	43
3.1.2	Pengumpulan Data	43
3.1.3	Analisis citra	43
3.1.4	Validasi	47
3.1.5	Hasil dan Pembahasan	47

DAFTAR PUSTAKA	v
-----------------------------	----------

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana tanah longsor sering dikaitkan dengan datangnya musim penghujan. Bencana tanah longsor (landslides) menjadi masalah yang umum pada daerah yang mempunyai kemiringan yang curam. Longsor atau sering disebut gerakan tanah/batuan adalah suatu peristiwa geologi yang terjadi karena pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Longsoran merupakan salah satu masalah yang banyak terjadi pada lereng alam maupun buatan, dan merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, terutama pada musim hujan yang mengakibatkan kerugian materiil yang cukup besar serta menelan korban jiwa.

Kajian mengenai pergerakan tanah/longsor telah menarik banyak perhatian dari berbagai pihak dikarenakan hal ini merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada beberapa daerah di Indonesia, khususnya ketika curah hujan sedang tinggi. Para peneliti menggunakan berbagai metode dalam mengkaji permasalahan longsor seperti menggunakan metode geolistrik resistivitas untuk melakukan identifikasi bidang gelincir, metode geologi teknik untuk menghitung stabilitas lereng, dan lain sebagainya. Metode geolistrik bersifat subjektif karena interpretasi dan analisis nilai resistivitas bergantung pada kondisi geologi setempat yang dapat dikonfirmasi dengan melakukan pemboran sampel tanah (*coring*). Pendekatan lain yang juga sering dilakukan adalah metode geologi teknik. Metode ini bersifat objektif karena berdasarkan sifat fisik material tanah longsor dengan kondisi kestabilan lereng *in-situ*. Sifat fisik tanah diperoleh dengan menguji sampel di laboratorium. Analisis kelongsoran dengan metode geolistrik dan metode geologi teknik memberikan hasil yang berbeda.

Metode geolistrik adalah metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan dengan cara mengukur sifat listrik tanah atau batuan. Metode geolistrik sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang sains. Beberapa contoh untuk penerapan geolistrik pada bidang teknik sipil adalah

untuk mencari tahu stratigrafi tanah dan batu, posisi air tanah, posisi akuifer, permeabilitas tanah dan batu, lokasi batuan dasar, menentukan dimensi dan kedalaman pondasi dan struktur yang ada didalam tanah lainnya. Metode geolistrik dapat diterapkan secara langsung sebagai contoh, untuk menentukan posisi akuifer di tanah. Namun, untuk analisis lebih lanjut seperti analisis stabilitas lereng penggunaan data geolistrik dipandang kurang praktis. Misalnya untuk menentukan kemiringan geometri, pengguna harus memplot data secara manual dengan demikian, pengguna harus mentransfer hasil data geolistrik dengan program analisis stabilitas lereng agar mendapatkan hasil kemiringan lereng dan retakan – retakan yang terdapat pada lereng tersebut. Selain itu, hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode manual dianggap tidak akurat dan membutuhkan waktu lama untuk mentransfer data geolistrik ke program analisis stabilitas lereng. [4]

Metode geologi teknik yaitu analisis stabilitas lereng secara manual atau dengan menggunakan program memberikan hasil faktor keamanan dari lereng tersebut serta memberikan gambaran bidang longsornya, akan tetapi hasil dari metode ini diperoleh berdasarkan data lapangan dan laboratorium yang didapat melalui pengambilan sampel tanah dilapangan yang nantinya akan diuji dilaboratorium.

Di tengah perkembangan teknologi yang semakin pesat dewasa ini, tidak dapat dipungkiri telah membuat siklus akan kebutuhan komputerisasi di segala aspek pun mengalami peningkatan. Tak terkecuali pada bidang teknik sipil, analisis kestabilan lereng yang menghasilkan faktor keamanan dari suatu lereng, gambaran bidang longsong, serta retakan – retakan yang terdapat pada lereng akan di dapat dengan waktu yang lebih cepat jika proses pengukuran atau analisis dilakukan dengan cara komputerisasi dibandingkan dengan analisis atau pengukuran yang dilakukan dengan cara manual. Salah satu metode komputerisasi yang dapat digunakan adalah pengolahan citra digital. Pengolahan Citra Digital (*Digital Image Processing*) merupakan bidang ilmu yang mempelajari tentang bagaimana suatu citra itu dibentuk, diolah, dan dianalisis sehingga menghasilkan informasi yang dapat dipahami oleh manusia.

Berdasarkan latar belakang diatas maka dalam penelitian ini akan dikembangkan metode prediksi kelongsoran pada lereng yang berdasarkan pada Algoritma *Edge Detection* dan Metode Fotogrametri agar dapat membantu pihak terkait atau pemerintah daerah dalam pencegahan terhadap kelongsoran untuk daerah rawan longsor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengidentifikasi retakan yang ada pada lereng.
2. Bagaimana cara mendeteksi perbedaan tinggi permukaan pada retakan tanah akibat dari pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengembangkan Algoritma *Edge Detection* untuk mengidentifikasi retakan yang ada pada lereng.
2. Mendeteksi perbedaan tinggi permukaan pada retakan tanah akibat dari pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi menggunakan Metode Fotogrametri.

1.4 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai berikut :

1. Menghasilkan Algoritma *Edge Detection* untuk memprediksi kelongsoran pada lereng yang berdasarkan pada retakan yang ada dan perbedaan tinggi permukaan pada retakan tanah akibat dari pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pihak terkait atau pemerintah daerah setempat dalam pencegahan terhadap kelongsoran untuk daerah rawan longsor.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengolahan Citra Digital

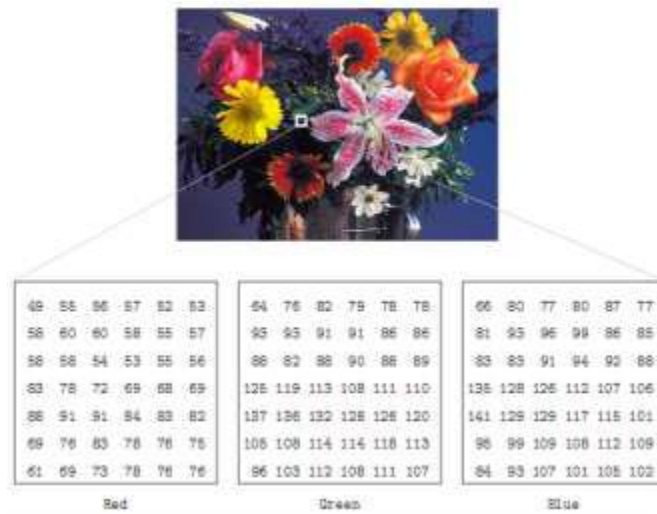
Pengolahan citra digital (*Digital Image Processing*) adalah sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang teknik-teknik mengolah citra. Citra yang dimaksud disini adalah gambar diam (foto) maupun gambar bergerak (yang berasal dari webcam). Sedangkan digital disini mempunyai maksud bahwa pengolahan citra/gambar dilakukan secara digital menggunakan komputer [22]. Secara matematis, citra merupakan fungsi kontinu (continue) dengan intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Agar dapat diolah dengan komputer digital, maka suatu citra harus dipresentasikan secara numerik dengan nilai-nilai diskrit. Reperesentasi dari fungsi kontinu menjadi nilai-nilai diskrit disebut digitalisasi citra. Sebuah citra digital dapat diwakili oleh sebuah matriks dua dimensi $f(x,y)$ yang terdiri dari M kolom dan N baris, dimana perpotongan antara kolom dan baris disebut piksel (*pixel = picture element*) atau elemen terkecil dari sebuah citra [9].

2.1.1 Jenis Citra Digital

Pada aplikasi pengolahan citra digital pada umumnya, citra digital dapat dibagi menjadi 3, *color image*, *balck and white image* dan *binary image*.

1. *Color Image* atau RGB (*Red, Green, Blue*).

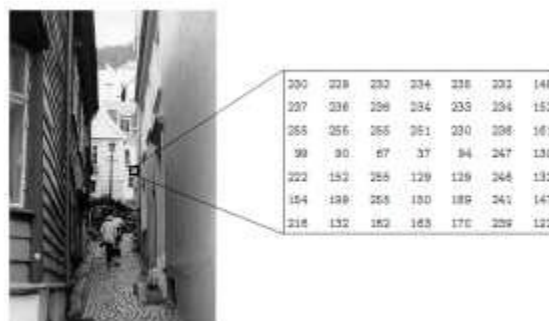
Pada *color image* ini masing-masing piksel memiliki warna tertentu, warna tersebut adalah merah (*Red*), hijau (*Green*) dan biru (*Blue*). Jika masing-masing warna memiliki range 0 - 255, maka totalnya adalah $255^3 = 16.581.375$ (16 K) variasi warna berbeda pada gambar, dimana variasi warna ini cukup untuk gambar apapun. Karena jumlah bit yang diperlukan untuk setiap pixel, gambar tersebut juga disebut gambar-bit warna. *Color image* ini terdiri dari tiga matriks yang mewakili nilai-nilai merah, hijau dan biru untuk setiap pikselnya, seperti yang ditunjukkan gambar 1.



Gambar 1. Color Image [12]

2. Black and White.

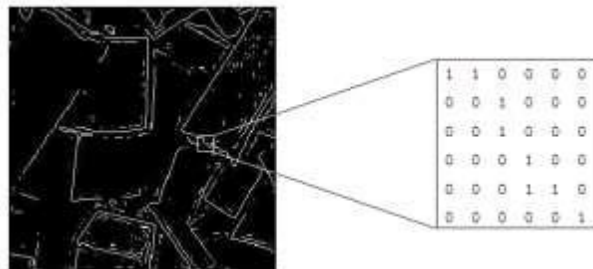
Citra digital *black and white* (*grayscale*) setiap pikselnya mempunyai warna gradasi mulai dari putih sampai hitam. Rentang tersebut berarti bahwa setiap piksel dapat diwakili oleh 8 bit, atau 1 byte. Rentang warna pada *black and white* sangat cocok digunakan untuk pengolahan file gambar. Salah satu bentuk fungsinya digunakan dalam kedokteran (*X-ray*). *Black and white* sebenarnya merupakan hasil rata-rata dari *color image*.



Gambar 2. Black and White (Grayscale) [12]

3. *Binary Image*.

Setiap piksel hanya terdiri dari warna hitam atau putih, karena hanya ada dua warna untuk setiap piksel, maka hanya perlu 1 bit per piksel (0 dan 1) atau apabila dalam 8 bit (0 dan 255), sehingga sangat efisien dalam hal penyimpanan. Gambar yang direpresentasikan dengan biner sangat cocok untuk teks (dicetak atau tulisan tangan), sidik jari (*finger print*), atau gambar arsitektur. *Binary image* merupakan hasil pengolahan dari *black and white image*.



Gambar 3. *Binary Image* [12]

2.1.2 Elemen – Elemen Citra Digital

Adapun elemen-elemen yang membentuk citra digital adalah :

1. Kecerahan (*Brightness*).

Brightness merupakan intensitas cahaya yang dipancarkan piksel dari citra yang dapat ditangkap oleh sistem penglihatan. Kecerahan pada sebuah titik (piksel) di dalam citra merupakan intensitas rata-rata dari suatu area yang melingkupinya.

2. Kontras (*Contrast*).

Kontras menyatakan sebaran terang dan gelap dalam sebuah citra. Pada citra yang baik, komposisi gelap dan terang tersebar secara merata.

3. Kontur (*Contour*)

Kontur adalah keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada piksel-piksel yang bertetangga. Karena adanya perubahan intensitas inilah mata mampu mendeteksi tepi-tepi objek di dalam citra.

4. Warna.

Warna sebagai persepsi yang ditangkap sistem visual terhadap panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh objek.

5. Bentuk (*Shape*).

Shape adalah properti intrinsik dari objek 3 dimensi, dengan pengertian bahwa bentuk merupakan properti intrinsik utama untuk sistem visual manusia.

6. Tekstur (*Texture*).

Texture dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan piksel-piksel yang bertetangga. Tekstur adalah sifat-sifat atau karakteristik yang dimiliki oleh suatu daerah yang cukup besar, sehingga secara alami sifat-sifat tadi dapat berulang dalam daerah tersebut. Tekstur adalah keteraturan pola-pola tertentu yang terbentuk dari susunan piksel-piksel dalam citra digital. Informasi tekstur dapat digunakan untuk membedakan sifat-sifat permukaan suatu benda dalam citra yang berhubungan dengan kasar dan halus, juga sifat-sifat spesifik dari kekasaran dan kehalusan permukaan tadi, yang sama sekali terlepas dari warna permukaan tersebut.

2.2 Operasi Pengolahan Citra

Operasi – operasi yang dilakukan didalam pengolahan citra banyak ragamnya. Beberapa jenis operasi pengolahan citra menurut. [14]

1. Perbaikan kualitas citra (*image enhancement*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara memanipulasi parameter-parameter citra. Dengan operasi ini, ciri-ciri khusus yang terdapat di dalam citra lebih ditonjolkan.

2. Pemugaran citra (*image restoration*).

Operasi ini bertujuan menghilangkan/meminimumkan cacat pada citra. Tujuan pemugaran citra hampir sama dengan operasi perbaikan citra. Bedanya, pada pemugaran citra penyebab degradasi gambar diketahui.

3. Pemampatan citra (*image compression*).

Jenis operasi ini dilakukan agar citra dapat direpresentasikan dalam bentuk yang lebih kompak sehingga memerlukan memori yang lebih sedikit. Hal penting

yang harus diperhatikan dalam pemampatan adalah citra yang dimampatkan harus tetap mempunyai kualitas gambar yang bagus.

4. Segmentasi citra (*image segmentation*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk memecah suatu citra ke dalam beberapa segmen dengan suatu kriteria tertentu.

5. Pengorakan citra (*image analysis*).

Jenis operasi ini bertujuan menghitung besaran kuantitatif dari citra untuk menghasilkan deskripsinya. Teknik pengorakan citra mengekstraksi ciri-ciri tertentu yang membantu dalam identifikasi objek.

6. Rekonstruksi citra (*image reconstruction*).

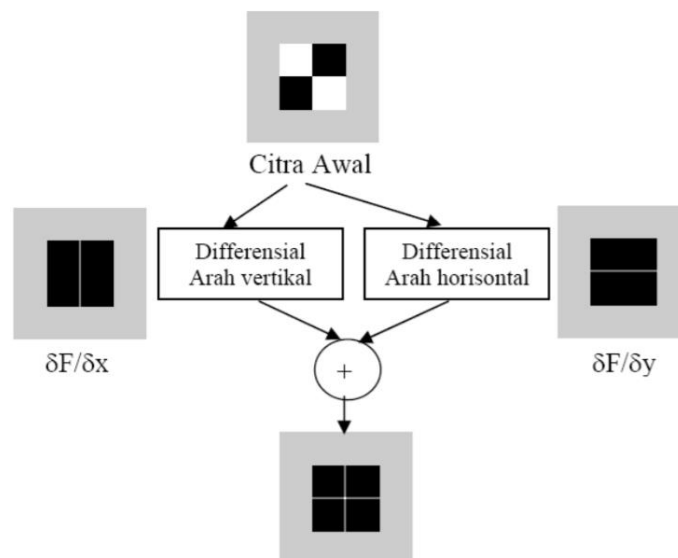
Jenis operasi ini bertujuan untuk membentuk ulang objek dari beberapa citra hasil proyeksi.

2.3 Edge Detection

Deteksi tepi (*Edge detection*) adalah operasi yang dijalankan untuk mendeteksi garis tepi (*edges*) yang membatasi dua wilayah citra homogen yang memiliki tingkat kecerahan yang berbeda. Deteksi tepi sebuah citra digital merupakan proses untuk mencari perbedaan intensitas yang menyatakan batas-batas suatu objek (sub-citra) dalam keseluruhan citra digital yang dimaksud. Tujuan pendeteksian tepi adalah untuk meningkatkan penampakan garis batas suatu daerah atau objek di dalam citra.

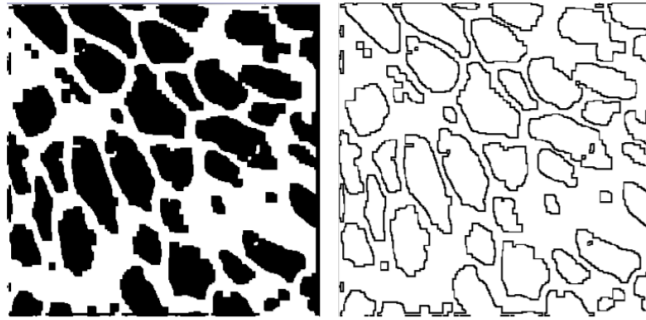
Proses deteksi tepi citra dilakukan dengan mencari lokasi-lokasi intensitas pixel-pixel yang discontinue dengan intensitas pixel-pixel yang berdekatan (bertetanggaan/*neighborhood*). Suatu titik (x,y) dikatakan sebagai tepi (edge) dari suatu citra, bila titik tersebut mempunyai perbedaan yang tinggi dengan tetangganya. Pada proses pengolahan citra digital seperti segmentasi dan analisis citra digital, peranan metode-metode pendeteksian tepi citra sangat berperan penting terhadap keakuratan hasil segmentasi dan analisis citra digital [22].

Tepi (*edge*) adalah perubahan nilai intensitas derajat keabuan yang cepat/tiba-tiba (besar) dalam jarak yang singkat. Sedangkan deteksi tepi (*Edge Detection*) pada suatu citra adalah suatu proses yang menghasilkan tepi-tepi dari obyek-obyek citra, tujuannya adalah untuk menandai bagian yang menjadi detail citra; dan memperbaiki detail dari citra yang kabur, yang terjadi karena error atau adanya efek dari proses akuisisi citra. Suatu titik (x,y) dikatakan sebagai tepi (*edge*) dari suatu citra bila titik tersebut mempunyai perbedaan yang tinggi dengan tetangganya. Pada gambar 4 berikut dapat dilihat proses yang dilakukan untuk memperoleh tepi gambar dari suatu citra yang ada.



Gambar 4. Proses Deteksi Tepi Citra Digital

Pada gambar 5 terlihat bahwa hasil deteksi tepi berupa tepi-tepi dari suatu gambar. Bila diperhatikan bahwa tepi suatu gambar terletak pada titik-titik yang memiliki perbedaan intensitas pixel yang tinggi.



Gambar 5. Hasil Deteksi Tepi pada Suatu Citra Digital

Ada beberapa metode yang terkenal dan banyak digunakan untuk pendeteksian tepi di dalam citra, salah satunya adalah operator Sobel. Metode Sobel paling banyak digunakan sebagai pelacak tepi karena kesederhanaan dan keampuannya. [14] Kelebihan dari metode ini adalah kemampuan untuk mengurangi *noise* sebelum melakukan perhitungan deteksi tepi. Masing-masing metode deteksi memiliki sub metode yang cukup banyak, tetapi metode deteksi citra yang baik adalah metode yang dapat mengeliminasi derau (*noise*) yang semaksimal mungkin. Deteksi tepi operator Sobel diperkenalkan oleh Irwin Sobel pada tahun 1970. Operator ini identik dengan bentuk matriks 3x3 atau jendela ukuran 3x3 piksel.[11] Operator Sobel melakukan perhitungan secara 2D terhadap suatu ruang di dalam sebuah citra. Operator ini biasanya digunakan untuk mencari gradien dari masing-masing piksel citra *input* yang telah dikonversi ke *grayscale* sebelumnya.

Operator Sobel terdiri dari matriks 3x3 masing-masing adalah G_x dan G_y . Matriks *mask* tersebut dirancang untuk memberikan respon secara maksimal terhadap tepi objek baik horizontal maupun vertikal. *Mask* dapat diaplikasikan secara terpisah terhadap *input* citra. Operator Sobel menggunakan kernel operator gradien 3 x 3, dengan koefisien yang telah ditentukan. G_x dan G_y dapat dinyatakan sebagai berikut : [14]

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan } G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Kernel di atas dirancang untuk menyelesaikan permasalahan deteksi tepi baik secara vertikal maupun horizontal. Penggunaan kernel-kernel ini dapat digunakan bersamaan ataupun secara terpisah. [17] Untuk mendapatkan nilai maksimum dari operator Sobel, proses selanjutnya adalah dengan menghitung kekuatan tepi citra terhadap warna kecerahannya dengan cara mencari nilai *magnitude* yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut: [14]

$$M = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Karena menghitung akar adalah persoalan rumit dan menghasilkan nilai real, maka dalam mencari kekuatan tepi (*magnitude*) dapat disederhanakan perhitungannya. Besarnya *magnitude* gradien dapat dihitung lebih cepat lagi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: [14]

$$M = |G_x| + |G_y|$$

2.4 Fotogrametri

Fotogrametri adalah suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan atau pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik. Seiring berkembangnya ilmu dan teknologi, teknik fotogrametri terus berkembang. Mulai dari fotogrametri analog, fotogrametri analitik hingga fotogrametri digital (*Softcopy Photogrammetry*). [24]

Fotogrametri berasal dari kata Yunani dari kata “*photos*” yang berarti sinar “*gramma*” yang berarti sesuatu yang tergambar atau ditulis, dan “*metron*” yang berarti mengukur. Oleh karena itu konsep dari fotogrametri sendiri adalah pengukuran secara grafik dengan menggunakan sinar. [8]

Kegiatan pemetaan secara fotogrametris yaitu menggunakan foto udara yang dilakukan selama puluhan tahun menyebabkan semakin berkembang pula peralatan dan teknik dalam pemetaan, diikuti dengan perkembangan fotogrametri

yang akurat dan efisien, serta sangat menguntungkan didalam bidang pemetaan. Fotogrametri dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pemetaan yang memerlukan ketelitian tinggi, sehingga perkembangan selanjutnya sebagian besar pemetaan topografi dan juga pemetaan persil dilakukan dengan menggunakan fotogrametri. [23]

Akuisisi data fotogrametri tidak melakukan kontak fisik secara langsung itu menjadikan perbedaan yang absolut dengan *surveying*. Terdapat informasi penting dari akuisisi fotogrametri tersebut, yaitu:

1. Informasi Geometris

Informasi Geometris meliputi posisi spasial dan bentuk dari obyek. Hal ini merupakan sumber informasi paling penting yang bisa diperoleh dari fotogrametri.

2. Informasi Temporal

Informasi Temporal berkaitan dengan perubahan obyek dari waktu ke waktu. Biasanya dilakukan dengan membandingkan beberapa gambar yang direkam dari waktu yang berbeda.

Jenis-jenis fotogrametri bisa dikategorikan dengan beberapa cara, salah satunya berdasarkan posisi kamera dan jarak obyek: [8]

- a. Fotogrametri udara; menghasilkan citra udara dengan ketinggian lebih dari \pm 300 meter.
- b. Foto terestris; foto yang diambil secara langsung dilokasi yang sudah ditetapkan.
- c. Fotogrametri jarak dekat; pengambilan foto dengan jarak kamera dan obyek 100 mm sampai 300 m.

2.4.1 Kegunaan Fotogrametri

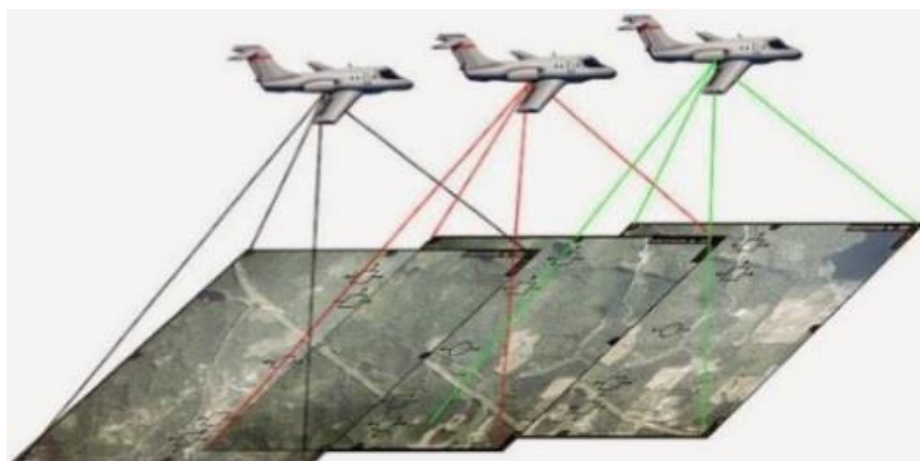
Fotogrametri mempunyai banyak kegunaan dalam pengukuran tanah dan rekayasa. Misalnya dipakai dalam pengukuran tanah untuk menghitung koordinat titik sudut, titik sudut batas. Peta-peta skala besar dibuat berdasarkan fotogrametri untuk pengkaplingan tanah, untuk memetakan garis-garis pantai, untuk menentukan

koordinat titik kontrol, untuk menggambarkan penampang melintang dalam pembuatan jalan. [26]

Fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara pada umumnya dipergunakan untuk berbagai kegiatan perencanaan dan desain seperti jalan raya, jalan kereta api, jembatan, jakur pipa, tanggul, jaringan listrik, jaringan telepon, bendungan, pelabuhan, pembangunan perkotaan, dsb. [26]

2.5 Foto Udara

Foto udara merupakan citra yang direkam dari udara untuk memperoleh gambaran dari sebagian permukaan bumi dengan menggunakan wahana pesawat terbang dengan ketinggian tertentu dan menggunakan kamera tertentu. Berdasarkan jenisnya, foto udara dibedakan atas dua jenis yaitu foto tegak dan foto miring. Foto udara tegak merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto dimana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi tegak lurus dengan permukaan bumi. Sedangkan foto miring merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto di mana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi miring. [18]



Gambar 6. Foto Udara

Foto udara diklasifikasikan sebagai foto udara tegak (vertikal) dan foto udara condong. Foto udara vertikal yaitu apabila sumbu kamera pada saat pemotretan dilakukan benar-benar vertikal atau sedikit miring tidak lebih dari 3° ,

sedangkan yang disebut dengan foto miring sekali dibuat dengan sumbu kamera yang sengaja diarahkan menyudut terhadap sumbu vertikal. Untuk foto miring, batasannya adalah antara kedua jenis foto tersebut. Secara umum foto yang digunakan untuk peta adalah foto tegak. [26]

2.5.1 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Pesawat tanpa awak UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan jenis pesawat terbang yang dikendalikan alat sistem kendali jarak jauh lewat gelombang radio. UAV merupakan sistem tanpa awak (*unmanned system*) yaitu sistem berbasis elektro mekanik yang dapat melakukan misi-misi terprogram dengan karakteristik sebuah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, UAV dapat dikendalikan manual melalui radio kontrol atau secara otomatis dengan mengolah data pada sensor.



Gambar 7. *Unmanned Aerial Vehicle*

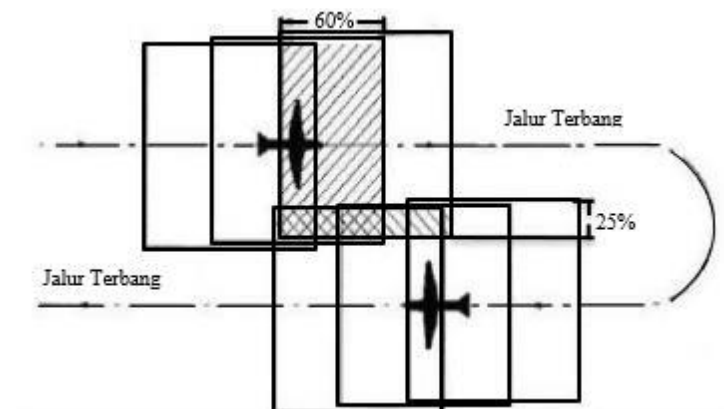
Terminologi terbaru UAV fotogrametri menjelaskan bahwa platform ini dapat beroperasi dan dikendalikan dari jarak jauh baik secara semi-otomatis maupun otomatis tanpa perlu pilot duduk di kendaraan. Platform ini dilengkapi dengan kemampuan untuk melakukan pengukuran fotogrametri baik secara skala kecil maupun besar dengan menggunakan sistem kamera atau kamera video, sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR, atau kombinasi ketiganya. UAV standar saat ini memungkinkan pendaftaran, pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global. Oleh

karena itu teknologi UAV fotogrametri ini dapat dipahami sebagai alat pengukuran fotogrametri terbaru.

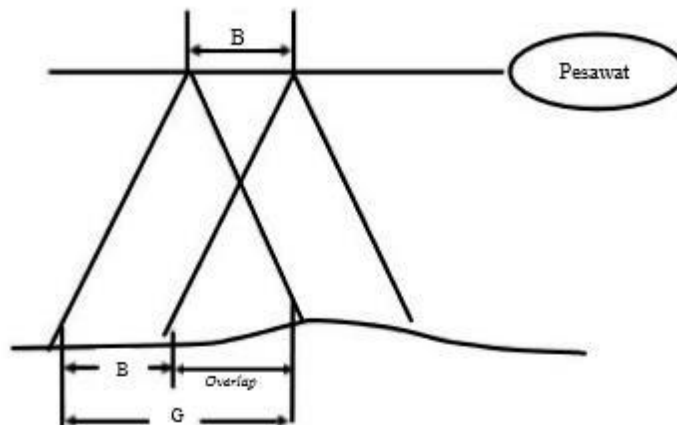
2.5.2 Desain Jalur Terbang

Dalam suatu pekerjaan fotogrametri memerlukan suatu rencana jalur terbang agar foto yang di hasilkan mempunyai kualitas yang baik. Proses pengambilan jalur terbang biasanya diambil jarak yang terpanjang untuk melakukan perekaman, hal ini untuk memperoleh kestabilan pesawat disaat pemotretan. Dalam mendesain jalur terbang di buat sepanjang garis yang sejajar untuk membuat foto yang bertampalan.

Area yang bertampalan overlap, merupakan daerah yang bertampalan antara foto satu dengan foto yang lainnya sesuai dengan nomor urutan jalur terbang. Besarnya tampalan antar foto tersebut umumnya sebesar 60%. Misalnya foto X1 memiliki informasi yang sama dengan foto X2 sebesar 60%. Tujuan dari tampalan ini adalah untuk menghindari daerah yang kosong disaat perekaman dikarenakan wahana pesawat terbang melaju dengan kecepatan yang tinggi. Selain overlap foto udara juga harus sidelap, sidelap merupakan pertampalan antara foto udara satu dengan foto udara lain yang ada diatas maupun dibawah area yang direkam ilustrasi pada gambar 2.5. Sidelap ini terjadi pada jalur terbang yang berbeda jadi suatu wilayah pada jalur terbang 1 yang telah direkam akan direkam kembali sebesar 25% dari liputan jalur terbang 2. Berikut ini gambaran dari proses Overlap dan Sidelap. [24]



Gambar 8. Contoh jalur terbang [24]



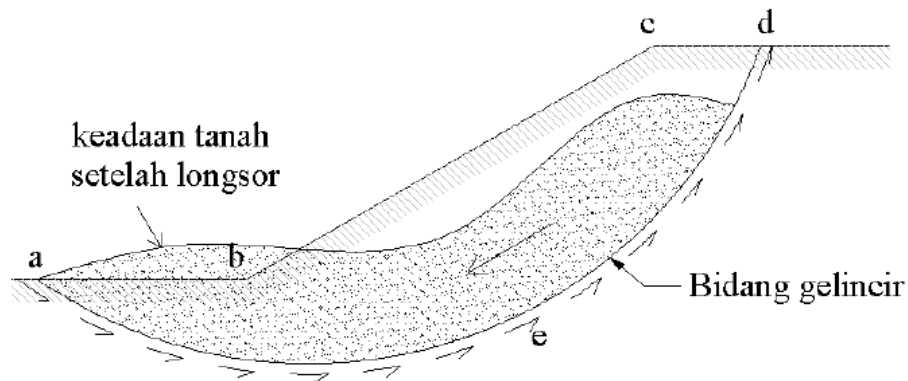
Gambar 9. Tampalan depan/*Overlay* [24]

2.5.3 Titik Kontrol Tanah (*Ground Control Point*)

Titik kontrol lapangan (GCP) merupakan suatu titik-titik yang letaknya pada suatu posisi piksel suatu citra yang koordinat petanya (referensinya) diketahui. GCP terdiri atas sepasang koordinat x dan y , yang terdiri atas koordinat sumber dan koordinat referensi. Koordinat-koordinat tersebut tidak dibatasi oleh adanya koordinat peta.

2.6 Analisis Kestabilan Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kelongsoran Lereng

Bidang gelincir dapat terbentuk dimana saja di daerah-daerah yang lemah. Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir memotong lereng pada dasar atau di atas ujung dasar dinamakan longsor lereng (*slope failure*). Lengkung kelongsoran disebut sebagai lingkaran ujung dasar (*toe circle*), jika bidang gelincir tadi melalui ujung dasar maka disebut lingkaran lereng (*slope circle*). Pada kondisi tertentu terjadi kelongsoran dangkal (*shallow slope failure*). Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir berada sedikit lebih jauh di bawah ujung dasar dinamakan longsor dasar (*base failure*). Lengkung kelongsorannya dinamakan lingkaran titik tengah (*midpoint circle*) [6].

Proses menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan longsor yang paling mungkin dengan kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan dinamakan dengan Analisis Stabilitas Lereng (*Slope Stability Analysis*).

2.6.1 Faktor – Faktor Dalam Menganalisis Kestabilan Lereng

Faktor – faktor dalam menganalisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut:

a. Geometri Lereng

Geometri lereng yang perlu diketahui adalah :

- Orientasi (*dip* dan *strike*) lereng
- Tinggi dan kemiringan (tiap - tiap jenjang).
- Lebar jenjang (*Berm*).

Apabila suatu lereng mempunyai kemiringan yang tetap, maka perubahan ketinggian akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan, karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah atau batuan semakin besar, sehingga semakin tinggi lereng, maka sudut kemiringan lereng yang diperlukan akan semakin kecil.

b. Penyebaran Batuan

Macam penyebaran dan hubungan antar batuan yang terdapat di daerah penyelidikan harus diketahui. Hal ini perlu dilakukan karena sifat fisik dan mekanis batuan berbeda sehingga kekuatan batuan dalam menahan bebannya sendiri juga berbeda.

c. Relief Permukaan Bumi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi, pengendapan, menentukan arah aliran air permukaan lebih besar, dan mengakibatkan pengikisan yang lebih banyak. Akibatnya adalah banyak dijumpai singkapan - singkapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan akan mudah lapuk dan mempengaruhi kekuatan batuan. Pada akhirnya kekuatan batuan menjadi kecil sehingga kestabilan lereng berkurang.

d. Struktur Geologi Regional dan Lokal

Struktur geologi yang perlu diketahui adalah bidang diskontinuitas atau bidang lemah seperti sesar, kekar, perlapisan, bidang ketidakselarasan dan sebagainya. Struktur geologi ini merupakan bidang lemah dalam massa batuan dan dapat menurunkan kestabilan lereng.

Struktur geologi ini juga mempengaruhi kekuatan batuan atau paling tidak merupakan tempat rembesan air, sehingga akan mempengaruhi cepat lambatnya pelapukan dimana penentuan arah jurus dan kemiringan bidang tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam melengkapi data analisis.

e. Iklim dan curah hujan

Iklim berpengaruh terhadap kestabilan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan, sehingga mengurangi gaya tahan dari lereng tersebut. Untuk daerah tropis pelapukan berlangsung lebih cepat dan

kelongsoran pada lereng lebih cepat berlangsung. Dengan kandungan air pada pori batuan yang lebih besar dapat menyebabkan bertambahnya gaya penggerak untuk terjadinya kelongsoran.

f. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Sifat fisik dan mekanik batuan yang diperlukan untuk menganalisis kestabilan lereng adalah :

- a) Bobot isi
- b) Porositas
- c) Kandungan air
- d) Kuat geser batuan dan bidang lemah
- e) Kuat tekan uniaksial, kuat tarik, modulus deformasi, poisson ratio.

Analisis kestabilan lereng untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik biasanya menggunakan metode numerik. Istilah umum yang digunakan untuk menyatakan suatu kestabilan lereng adalah faktor keamanan atau faktor kemantapan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil dengan gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor.

2.6.2 Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Ketidakstabilan Lereng

Faktor-faktor penyebab lereng rawan longsor meliputi faktor internal (dari tubuh lereng sendiri) maupun faktor eksternal (dari luar lereng), antara lain:

1. Cuaca / Iklim
2. Ketidakseimbangan Beban di Puncak dan di Kaki Lereng
3. Vegetasi / Tumbuh-tumbuhan
4. Naiknya Muka Air tanah
5. Pengelolaan Lingkungan

2.7 Faktor Keamanan Lereng

Banyak rumus perhitungan Faktor Keamanan lereng (material tanah) yang diperkenalkan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng ini. Rumus dasar Faktor

Keamanan (*Safety Factor*, F) lereng yang diperkenalkan oleh Fellinius, Bishop dan kemudian dikembangkan adalah :

Rumus dasar Faktor keamanan lereng: $\tau = c + \sigma \tan \theta$

$$F_s = \frac{\text{Gaya yang menghambat gerak}}{\text{Gaya yang meningkatkan gerak}}$$

Faktor Keamanan(FK) lereng terhadap longsoran tergantung pada ratio antara kekuatan geser tanah (τ_f) dan tegangan geser yang bekerja (τ_d).

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Tabel 1. Hubungan faktor keamanan lereng dan intensitas longsor(Bowles, 1989)

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian/Intensitas longsor
F kurang dari 1, 07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
F antara 1,07 – 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

2.8 Analisa Faktor Keamanan Lereng

Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan analisa faktor keamanan sederhana untuk mencari nilai F (faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut :

a. Data lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng) meliputi: sudut lereng, tinggi lereng, atau panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng.

b. Data mekanika tanah

- Sudut geser dalam (ϕ ; derajat)

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan/gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

- Berat isi tanah basah (γ_{wet} ; g/cm³ atau kN/m³ atau ton/m³)

Nilai berat isi tanah akan menentukan besarnya beban yang diterima pada permukaan bidang longsor, dinyatakan dalam satuan berat per volume. Berat isi batuan/tanah ini juga dipengaruhi oleh jumlah kandungan air dalam batuan tersebut.

- Kohesi (c ; kg/cm^2 atau kN/m^2 atau ton/m^2)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar partikel dalam batuan/tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi batuan/tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi (C) diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium yaitu dengan melakukan pengujian kuat tekan triaksial (*triaxial test*) dan pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*).

- Kadar air tanah (ω ; %)

Kadar air tanah yang dimaksud adalah ketinggian level air tanah yang berada di bawah permukaan lereng. Pengaruh air tanah terhadap kestabilan lereng yaitu adanya tekanan ke atas dari air pada bidang - bidang lemah yang secara efektif mengurangi kekuatan geser dan mempercepat proses pelapukan dari batuan.

Makin besar harga tekanan air (U), maka makin kecil harga kekuatan geser batuan/tanah, sehingga nilai stabilitas lereng (*slope stability*) juga akan makin mengecil. Selain itu, adanya air tanah tersebut juga dapat meningkatkan densitas batuan/tanah dengan memberikan sejumlah tambahan berat beban terhadap massa batuan/tanah tersebut, hal ini juga akan mempengaruhi kestabilan lereng. Pengaruh lain dari air tanah adalah mempercepat terjadinya proses pelapukan, semakin banyak air tanah tersebut mengisi rekahan/celah batuan dan semakin lama air tersebut berada di dalamnya, proses pelapukan akan semakin cepat. Dengan adanya pelapukan ini tentunya akan memperlemah kekuatan massa batuan maupun kekuatan gesernya sehingga secara langsung akan mempengaruhi kestabilan lereng tersebut.

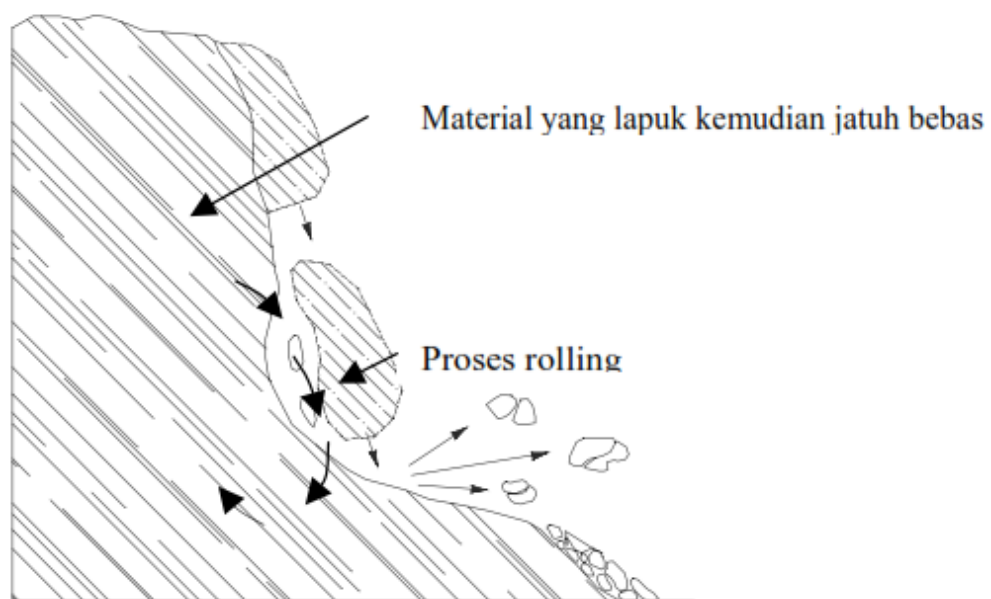
2.9 Kelongsoran Lereng

Permasalahan dari sebuah lereng adalah kelongsoran, definisi kelongsoran adalah luncuran atau gelinciran atau jatuhan dari massa batuan/tanah atau campuran keduanya dari elevasi yang lebih tinggi menuju elevasi yang lebih rendah. Kelongsoran sendiri terjadi karena pergerakan tanah untuk mencari keseimbangan atau kestabilan daya dukung tanah karena tanah terjadi penambahan tegangan geser yang lebih besar dari kuat geser lereng tersebut.

Longsoran merupakan bagian dari gerakan tanah, jenisnya terdiri atas [6] :

1. Jatuhan (*Fall*)

Jatuhan adalah massa batuan bergerak melalui udara dari posisi yang lebih tinggi menuju posisi yang lebih rendah. (Gambar 11)



Gambar 11. Tipe Gerakan Keruntuhan Jatuhan (*Fall*)

2. Gelinciran (*Slides*)

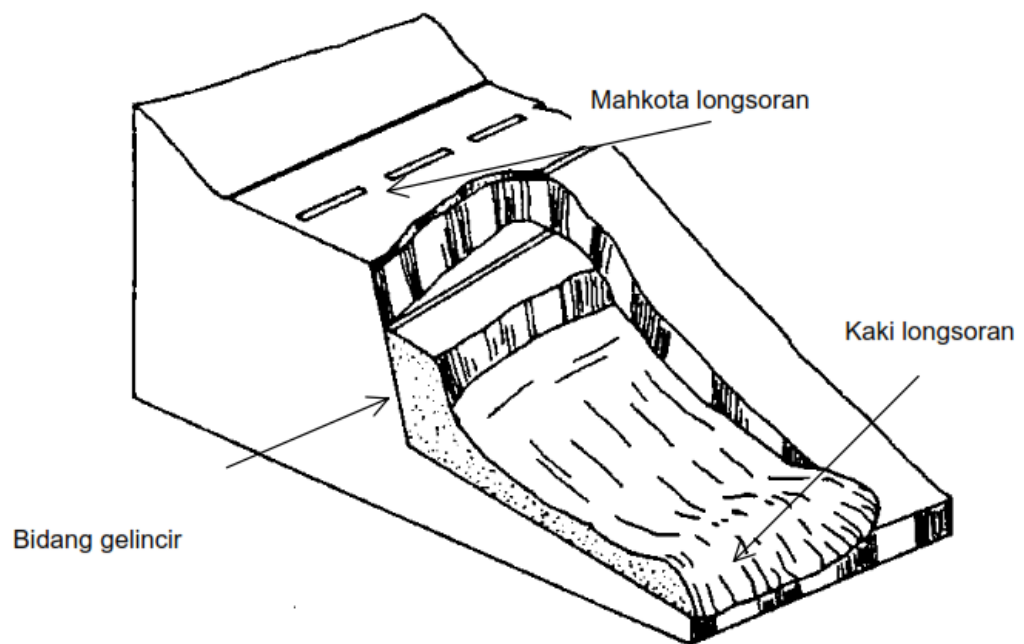
Gelincir terjadi akibat massa tanah bergerak pada suatu bidang yang disebut bidang gelincir. Jenis-jenis gelincir berupa translasi, rotasi atau kombinasi keduanya (majemuk).

a) Gelincir translasi (Gambar 12);

- Keruntuhan terjadi sepanjang zona lemah baik pada tanah ataupun batuan.
- Massa tanah dapat bergerak jauh sebelum mencapai titik diamnya.

- Umum terjadi pada tanah berbutir kasar, sedangkan pada batuan biasanya terjadi bila posisi bidang lemahnya searah dan memotong kemiringan lereng.

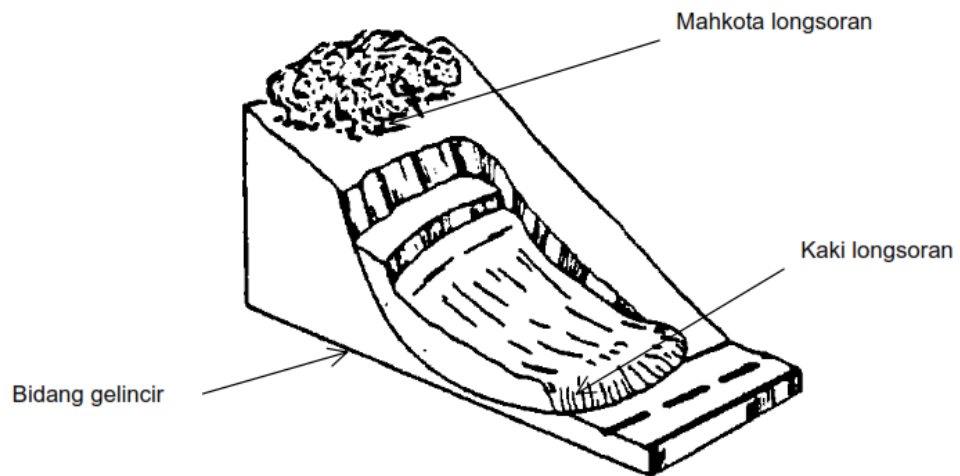
Dalam kelongsoran dengan gerakan translasi ini, massa tanah yang bergerak berlangsung turun dan keluar sepanjang permukaan yang kurang lebih memiliki bentuk planar atau bergelombang dan memiliki sedikit gerakan rotasi tetapi gerakan rotasi tersebut tidak dominan.



Gambar 12. Tipe keruntuhan gelincir translasi

b) Gelincir rotasi pada tanah;

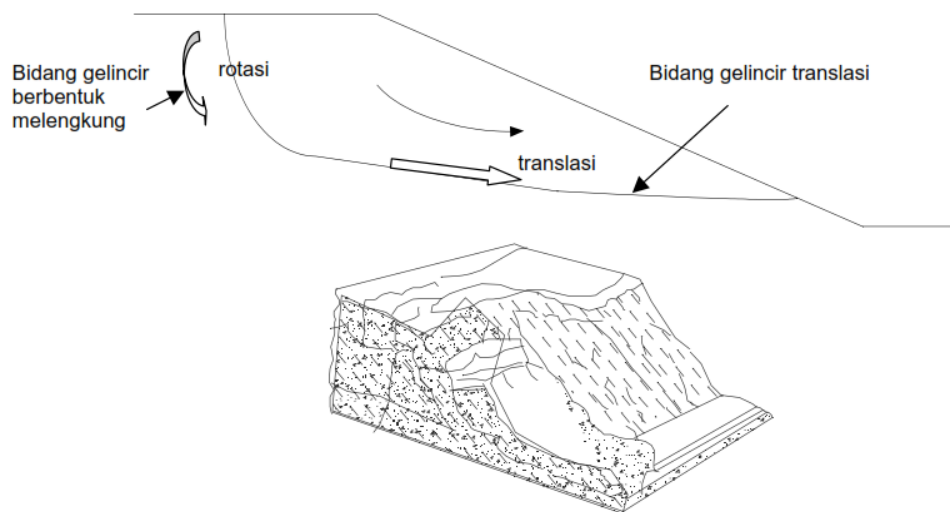
Tipe ini ditandai dengan adanya bidang gelincir lengkung dan gerakan rotasi. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng rotasi adalah gaya-gaya rembesan air tanah atau kemiringan lereng yang bertambah pada tanah residual. Bidang gelincir yang dalam biasanya terjadi pada tanah lempung lunak dan kenyal. Keruntuhan lereng rotasi pada tanah koluvial biasanya dangkal. Morfologi keruntuhan lereng rotasi pada tanah dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Tipe Keruntuhan Gelincir Rotasi

c) Gelincir kombinasi.

Gelincir kombinasi merupakan bentuk gabungan gelincir translasi dan rotasi (Gambar 14). Tipe gelincir ini terjadi pada tanah maupun batuan lapuk.



Gambar 14. Tipe keruntuhan gelincir kombinasi

Jenis-jenis kelongsoran yang sering terjadi :

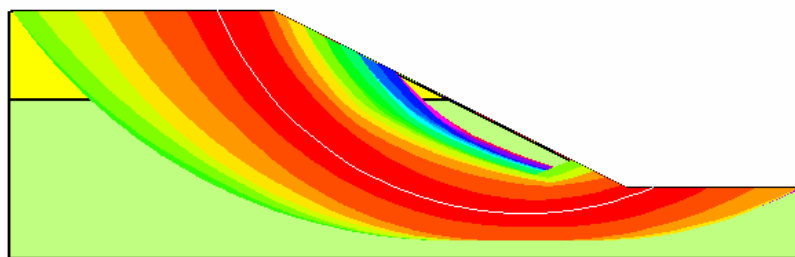
- Kelongsoran dasar (*base slide*), kelongsoran yang bidang kelongsorannya membentuk bidang busur lingkaran pada seluruh bidang lereng.
- Kelongsoran lereng (*slope slide*), kelongsoran yang permukaan kelongsorannya sampai bidang lereng dan belum melewati ujung kaki

lereng. Kelongsoran ini hanya terjadi dari bagian permukaan lereng hingga kaki lereng tanpa melewati dasar dari lereng tersebut.

- Kelongsoran di ujung kaki lereng (*toe slide*), kelongsoran yang permukaan bidang kelongsorannya melalui ujung kaki lereng.

Kelongsoran dapat terjadi pada setiap macam lereng, akibat berat tanah sendiri, ditambah dengan pengaruh yang besar dari rembesan air tanah, serta gaya lain dari luar lereng. Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan (*instability*) pada lereng alami (*natural slope*), pada lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*). Namun selain itu, kelongsoran juga terjadi akibat [6]:

- Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban pada lereng berupa bangunan baru, tambahan beban pada lereng oleh air yang masuk kedalam pori-pori tanah maupun yang menggenang dipermukaan lereng.
- Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng
- Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendungan, sungai, dan lain-lain.
- Getaran atau gempa bumi
- Jenis tanah
- Kondisi geometrik lereng

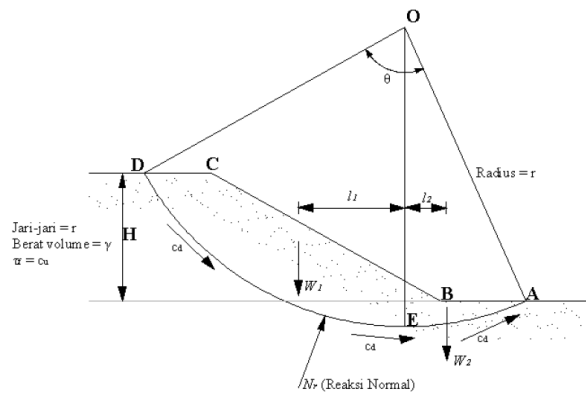


Gambar 15. Bidang Longsor pada Lereng

Pada umumnya analisis stabilitas lereng dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

1) Prosedur Massa (*Mass Procedure*)

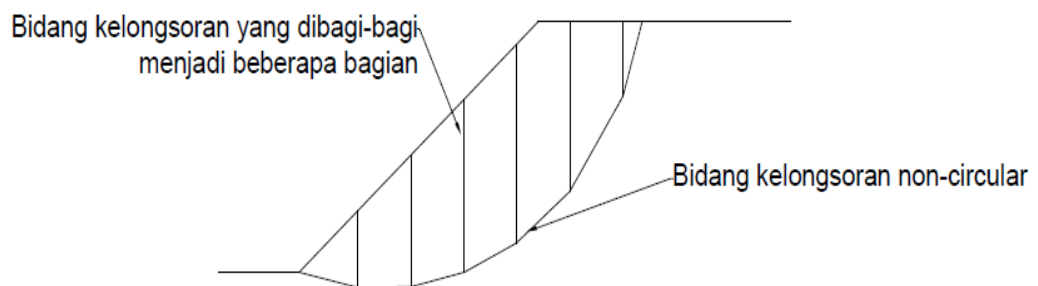
Pada cara analisis ini massa tanah yang berada di atas bidang gelincir diambil sebagai satu kesatuan. Prosedur ini berguna bila tanah yang membentuk lereng dianggap homogen [6].



Gambar 16. Analisis Stabilitas Lereng dengan Prosedur Massa

2) Metoda Irisan (*Method of Slice*)

Pada cara analisis ini tanah yang ada di atas bidang gelincir dibagi menjadi beberapa irisan-irisan paralel tegak. Stabilitas dari tiap-tiap irisan dihitung secara terpisah. Metode ini lebih teliti karena tanah yang tidak homogen dapat juga dimasukkan dalam perhitungan [6].



Gambar 17. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metoda Irisan

Terdapatnya beberapa macam variasi dari metode irisan disebabkan oleh adanya perbedaan asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan faktor keamanan. Asumsi tersebut dipergunakan karena analisis kestabilan lereng

merupakan persoalan statika tak tentu (*indefinite statics*) sehingga diperlukan beberapa asumsi tambahan yang diperlukan dalam perhitungan faktor keamanan.

2.10 Pengaruh Keretakan Terhadap Kelongsoran Lereng

Beberapa keretakan akibat tegangan pada tanah sering ditemukan pada bagian atas lereng alami. Keretakan ini biasa terbentuk pada musim kemarau. Beberapa retakan kecil akan tersusun pada permukaan lereng bagian atas. Retakan kecil tersebut akan membentuk celah-celah yang berbeda di daerah lereng. Hal ini terjadi selama musim kering setelah musim hujan dan kemarau yang berkepanjangan air hujan turun dan mengalir melalui retakan pada musim hujan dan mengakibatkan perubahan pada pola rembesan di lapisan tanah bagian dalam. Ketinggian muka air pada retakan akan merubah pola rembesan di bagian miring dari lereng. Retakan-retakan tersebut akan membentuk kolom jenuh di sekitar retakan. Pola retakan yang terjadi pada lereng dapat dilihat pada Gambar 18. Pada Gambar 19 dapat dilihat pola retakan yang disertai dengan ada nendatan, sedangkan pada Gambar 20 dapat dilihat tinggi nendatan yang terjadi sekitar 0,5 m – 1 m.



Gambar 18. Pola Retakan yang Terjadi Pada Lereng



Gambar 19. Retakan yang Disertai dengan Nendatan



Gambar 20. Nendatan yang Terjadi Pada Lereng dengan Tinggi 0,5 m -1 m

Retakan tanah dapat juga terjadi akibat gerakan massa tanah seperti gempa atau kegiatan manusia seperti saluran air, kolam tanah dan sebagainya. Pengaruh adanya retakan di permukaan, antara lain :

1. Pada retakan, tidak ada tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah. Jadi tahanan geser tanah terhadap longsoran hanya diperhitungkan terhadap permukaan lingkaran, yang dihitung dari ujung lingkaran yang satu sampai ujung lingkaran lain yang dimulai dari dasar retakan.

2. Jika air hujan mengisi retakan yang terbuka, tekanan hidrostatik yang bekerja pada sisi retakan menambah momen yang menggerakkan tanah untuk longsor.

2.11 Studi Literatur

Berbagai penelitian mengenai analisis kestabilan lereng dengan berbagai metode antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. State Of The Art

No.	Judul Dan Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil	Kelebihan	Kekurangan/Saran
1.	Research on crack monitoring at the trailing edge of landslides based on image processing (2019)	Mengusulkan sebuah metode untuk mengidentifikasi retakan pada trailing edge dari longsoran (TEL) berdasarkan teknologi pengolahan citra dan mengadopsi algoritma perbandingan median interval kustom (IMCA) untuk menghitung parameter gerakan retak.	Algoritma Otsu, dan pemrosesan deteksi tepi Canny, untuk mengidentifikasi garis besar trailing edge dari longsoran (TEL), menggunakan azimuth dan perpindahan untuk mengkarakterisasi gerakan retakan dan menggunakan IMCA untuk menghitung perubahan sebelum dan sesudah gerakan dari dua kelompok retakan. Merancang program komputer menggunakan open-source widget toolkit (bernama platform QT) berbasis pada model perhitungan yang sesuai dengan metode yang diusulkan, dan menerapkan tes pemantauan retak.	Metode pengenalan kurva yang diusulkan dalam makalah ini dapat mengidentifikasi garis retakan pada TEL. Metode ekspresi gerak retak yang diusulkan dalam makalah ini secara semikuantitatif dapat menggambarkan gerak dan keadaan retakan longsor. Perangkat lunak pengujian berbasis platform QT yang dikembangkan dalam makalah ini dapat memantau retakan pada trailing edge longsoran tanah. Pengguna (ahli geologi) hanya perlu mengumpulkan gambar selama pergerakan tanah longsor untuk menghasilkan data pemantauan retakan melalui perhitungan perangkat lunak.	Dibandingkan dengan metode pemantauan sensor perpindahan tradisional, teknologi Perangkat lunak pengujian berbasis platform QT dalam makalah ini dapat sangat mencakup pemantauan area buta. Dibandingkan dengan metode penginderaan jauh satelit, biayanya lebih rendah, dan persyaratan keterampilan profesional operator lebih rendah. Secara keseluruhan, metode ini mudah dipasang dan mudah dioperasikan, dan Metode ini sangat cocok untuk pemantauan di tempat selama penyelamatan darurat tanah longsor.	<ul style="list-style-type: none"> • Sudut pandang dapat menyebabkan distorsi. Karena penelitian ini menggunakan gambar multi-temporal, sulit untuk memastikan bahwa sudut pandang setiap foto adalah benar-benar konsisten, yang akan mengarah pada pemantauan perpindahan distorsi. Selain itu, untuk tanah longsor besar atau tanah longsor dengan dimensi lateral yang besar, trailing edge mungkin melebihi sudut pandang kamera. • Jenis tanah longsor dapat membatasi akurasi pemantauan, seperti longsor loess. Telah dilakukan penelitian menggunakan metode yang diusulkan dalam

						<p>makalah ini untuk melakukan eksperimen pengenalan gambar pada longsor loess. Hasil menunjukkan bahwa warna lereng stabil dari trailing edge hampir sama dengan lereng longsor, yang membuat kesulitan besar untuk identifikasi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifikasi kurva dan “perbandingan median interval” , Algoritma yang diusulkan dalam makalah ini untuk menghitung perubahan perpindahan retak pada trailing edge longsor perlu diuji lebih lanjut dan ditingkatkan.
2.	Application of Digital Image Technology for Determining Geometry, Stratigraphy, and Position Of Cracks Inside Earth Slope (2019)	Menentukan geometri, stratigrafi, dan posisi retak di dalam lereng yang akan digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng	Metode geolistrik dan teknik pemrosesan gambar dengan ruang warna RGB (Merah, Hijau, dan Biru).	Metode citra digital ini dapat dideteksi hingga akurasi 5,78 cm/piksel. Oleh karena itu, semakin besar ukuran piksel hasil pengujian geolistrik maka akan semakin tinggi pula akurasi yang diperoleh. Dengan demikian, hasil pemodelan geometri, lapisan, kemiringan dan kemiringan yang lebih rinci dan akurat juga dapat diperoleh.	<ul style="list-style-type: none"> • Metode ini dapat mendeteksi geometri lereng yang tidak rata seperti gundukan atau bahkan kubangan di lereng mana pun. • Tanpa metode pemrosesan gambar digital, penentuan nilai akurasi, rasio penskalaan, dan deteksi warna dari data hasil tes geolistrik akan agak sulit dan rumit. 	

				Semakin besar ukuran piksel citra lereng yang diolah maka tingkat akurasi hasil program akan semakin tinggi. Metode ini juga dapat mendeteksi geometri lereng yang tidak rata seperti gundukan atau bahkan kubangan pada setiap lereng.		
3.	Research on Crack Detection Algorithm of the Concrete Bridge Based on Image Processing (2019)	Mempelajari skema pemrosesan dan peningkatan algoritma pada tiga modul proses yaitu preprocessing citra, deteksi tepi retakan dan ekstraksi informasi fitur. Untuk tidak hanya meningkatkan akurasi dan kemudahan deteksi, tetapi juga mewujudkan deteksi keamanan otomatis retak jembatan beton	Algoritma Otsu dan Metode Deteksi Tepi Operator Sobel	Pada situasi aktual retak permukaan jembatan beton berdasarkan deteksi gambar, parameter karakteristik retak mencapai ekstraksi yang lebih akurat. Dalam makalah ini, perbaikan telah dilakukan dalam denoising, peningkatan kontras, segmentasi tepi, pengenalan retak dan ekstraksi data deteksi gambar retak. Akhirnya, hasil percobaan pendahuluan menunjukkan bahwa retakan gambar yang diperoleh sangat konsisten dengan yang sebenarnya, dan akurasi perhitungan data karakteristik memenuhi kebutuhan untuk deteksi teknik. Oleh karena itu, algoritma yang ditingkatkan layak untuk deteksi otomatis retakan jembatan beton secara real-time.	Algoritma yang ditingkatkan layak untuk deteksi otomatis retakan jembatan beton secara real-time karena gambar yang diperoleh sangat konsisten dengan yang sebenarnya, dan akurasi perhitungan data karakteristik memenuhi kebutuhan untuk deteksi teknik.	

4.	Analysis of Edge-Detection Techniques for Crack Identification in Bridges (2003)	Memberikan perbandingan efektivitas empat teknik pendeteksian retakan	Fast Haar Transform (FHT), Fast Fourier Transform, Sobel, dan Canny yang selanjutnya akan diimplementasikan di MatLab	Hasilnya menunjukkan bahwa FHT secara signifikan lebih dapat diandalkan daripada tiga teknik deteksi tepi lainnya dalam mengidentifikasi retakan.	Penelitian ini berfokus pada pendeteksian retak dan menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi teknik pemrosesan gambar untuk mendukung system pemantauan jembatan secara otomatis. Dalam hal ini, evaluasi seperti yang dibahas pada penelitian ini sangat diperlukan untuk pemilihan teknik terbaik untuk masalah yang dihadapi.	Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dibuat sistem pengambilan keputusan dalam pembacaan data yang dihasilkan oleh teknik pencitraan dan dapat merumuskan rencana pemeliharaan yang tepat.
5.	Detection and Quantification of Cracks in Reinforced Concrete Beams using Digital Image Processing Techniques (2017)	Penelitian ini menyajikan kerangka berbasis citra digital yang dikembangkan untuk mengekstrak sifat retak pada balok beton.	Pengembangan Algoritma Penyaringan citra computer untuk pemrosesan gambar	Algoritma pengolahan citra digital yang disajikan pada penelitian ini menghasilkan data numerik tentang sifat geometris yang menyajikan persentase total area retak (TACP), yang setara dengan rasio area retak terhadap total area. TACP dapat digunakan sebagai koefisien untuk memperkirakan atau mengevaluasi tingkat kerusakan pada balok R.C. Koefisien TACP bergantung pada penggalan data numerik dari area retakan.	Pola retak pada balok beton dalam penelitian ini dimanfaatkan untuk mengukur keadaan kerusakan elemen struktur dan menyediakan alat pendukung keputusan untuk memilih tindakan yang tepat terhadap retak.	
6.	Developing A Model Based On Image Processing For Soil Slope Stability Assessment (S. Reza	Untuk mendeteksi, menelusuri ambang batas dan bentuk keruntuhan untuk mengurangi efek buruknya pada pergerakan	Teknik pengolahan citra, yaitu PIV	Tanah tanpa bentonit lebih stabil dibandingkan tanah dengan bentonit karena dengan meningkatnya kandungan bentonit maka kestabilan	<ul style="list-style-type: none"> PIV dapat digunakan secara efisien untuk menganalisis stabilitas lereng dalam analisis 2D. 	

	Azimi & Hamid Nikraz, 2017)	lereng serta menyelidiki kemampuan teknik pengolahan citra, yaitu PIV, dalam karakterisasi perilaku lereng tanah dan evaluasi stabilitasnya.		lereng semakin menurun. Sedangkan kemiringan yang paling tidak stabil dimiliki oleh sampel dengan tanah dan alinyemen paling kecil	<ul style="list-style-type: none"> • Ketika memodelkan kemiringan tanah 2D, PIV menyediakan mekanisme keruntuhan yang lebih sesuai dibandingkan dengan Teknik konvensional • Bergantung pada kompleksitas komposisi tanah yang dapat memengaruhi stabilitas lereng, Teknik konvensional tidak mampu memodelkan kompleksitas yang terlibat dalam proses pergerakan 	
7.	Pengaruh Retakan Permukaan Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Bukit Guntur Macan, Gunung Sari, Lombok Barat (2021)	Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan lereng dengan retakan pada permukaan puncak lereng yaitu jarak dan kedalaman retakan.	Analisa stabilitas lereng metode Ordinary	<ul style="list-style-type: none"> • Jarak retakan dari puncak lereng dan kedalaman retakan mempengaruhi stabilitas lereng. Semakin dekat jarak dan kedalaman retakan dengan bidang gelincir lereng maka angka keamanan lereng semakin menurun. Retakan menimbulkan bidang gelincir tidak mempunyai kekuatan geser. • Keberadaan air di dalam retakan dapat mengakibatkan penurunan angka keamanan lereng. Air memberikan gaya dorong terhadap tahanan geser 		Untuk menghasilkan analisis yang lebih lengkap, perlu dilakukan kajian lebih dalam lagi mengenai intensitas dan durasi hujan pada setiap kedalaman retakan dan jarak retakan.

				lereng dan juga mengurangi kuat geser tanah pada bidang gelincirnya.		
8.	Pengaruh Tension Crack (Tegangan Retak) pada Analisis Stabilitas Lereng menggunakan Metode Elemen Hingga (2018)	Menganalisis stabilitas lereng pada kondisi tanah yang mengalami tegangan retak (tension crack) dengan berbagai macam kondisi dengan metode elemen hingga agar mengetahui kestabilan tanah tersebut.	Finite Element Method (FEM)	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin jauh posisi tegangan retak, semakin dalam tegangan retak serta semakin curam kemiringan lereng maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan dari lereng tersebut. • Kondisi jenuh dan tidak jenuh pada pemodelan tersebut memberikan pengaruh terhadap nilai faktor keamanan. • Saat kondisi jenuh, nilai faktor keamanan lebih kecil dibandingkan dengan kondisi tidak jenuh. • Bentuk keruntuhan tepat terjadi pada tegangan retak secara berkesinambungan dipengaruhi oleh kedalaman tegangan retak, posisi tegangan retak serta kemiringan lereng. 		Pemodelan atau analisis ini dilakukan menggunakan metode lain dan jika akan digunakan metode yang sama, disarankan untuk mencoba pemodelan menggunakan PLAXIS 3D sehingga dapat dilakukan perbandingan.
9.	Penerapan Konsep Baru Cracked Soils pada Penanggulangan	Untuk menjawab fenomena ketidak sesuaian hasil analisa stabilitas lereng	Metode Bishop. Analisa stabilitas tanah dilakukan	Asumsi behaving like sand dan pore water pressure build up pada the concept of cracked		Diperlukan penelitian lapangan untuk mengetahui letak crack di lapangan, uji

	Kelongsoran Lereng (2018)	dengan kondisi di lapangan menggunakan The concept of cracked soil yang telah dikembangkan dan diaplikasikan	dengan mengadopsi the concept of cracked soil.	soil ini dianggap paling sesuai diaplikasikan pada kasus pembangunan gedung ini dan menunjukkan safety factor < 1 (lereng longsor). Hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan.		parameter geser tanah retak di laboratorium, dan pembuatan program khusus untuk menganalisis stabilitas lereng yang mengalami retak.
10.	Ground-based multi-view photogrammetry for the monitoring of landslide deformation and erosion (2015)	Menyelidiki akurasi yang dapat diperoleh dari beberapa pemrosesan untuk rekonstruksi permukaan 3D Tanah longsor dan deteksi perubahan dari waktu ke waktu.	VSfM, CMVS, MicMac, Algoritma M3C2	<p>Hasil dari penelitian ini adalah MicMac memperoleh hasil lebih akurat, sedangkan VSfM dan PMVS memiliki tingkat otomatisasi yang lebih tinggi, dibandingkan dengan LiDAR point cloud.</p> <p>Algoritma M3C2 yang digunakan pada penelitian ini memiliki akurasi yang baik untuk mendeteksi deteksi perubahan yang terjadi dan untuk mendapatkan volume, tingkat erosi dan perkiraan perpindahan secara 3D dapat diilustrasikan untuk zona yang sangat aktif.</p>	Teknik yang diusulkan menyediakan informasi yang terdistribusi secara spasial dengan biaya yang lebih rendah secara signifikan. Untuk itu dibutuhkan banyak penyelidikan mengenai tanah longsong dengan cara yang praktis.	<ul style="list-style-type: none"> • Teknik yang diusulkan pada penelitian ini masih memiliki kekurangan jika dibandingkan dengan TLS atau GPS • Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan alat yang memungkinkan pengoptimalan yang lebih mudah untuk pemantauan.

11.	Kajian Pemanfaatan Metode Fotogrametri Dengan Uav <i>Low Cost</i> Untuk Pekerjaan Cut And Fill Pada Pembangunan Bandara Dhoho Kabupaten Kediri (2021)	Mengkaji pemanfaatan metode fotogrametri dengan UAS <i>low cost</i> untuk perhitungan <i>cut and fill</i> .	Model Elevasi Digital (DEM)	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil pembuatan DEM tidak menjadi data DSM. Yang mana data DSM menampilkan seluruh kelas termasuk bangunan, pohon, kendaraan dan objek-objek di permukaan bumi lainnya. DEM hanya menampilkan kelas ground points. Hasil pengolahan DEM akan dibuat pada peta berskala :2500 dan 1:5000. • Persentase kesalahan perhitungan volume <i>cut</i> adalah 3,25% dan 4,09% untuk volume <i>fill</i>. Melihat dari persentase kesalahan perhitungan volume dapat disimpulkan bahwa hasilnya tidak jauh berbeda diantara kedua perhitungan volume. 		Menggunakan volume hasil pengukuran terestrial sebagai validasi untuk perhitungan volume menggunakan fotogrametri.
12.	Pemanfaatan Teknologi <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter</i> dalam Pemetaan Digital (<i>Fotogrametri</i>) Menggunakan Kerangka <i>Ground Control Point (GCP)</i> (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Menguraikan teknik cara pemetaan <i>fotogrametri</i> sehingga dapat menghasilkan gambar orthophoto yang terkoreksi berdasarkan standar Badan Informasi Geospasial (BIG). • Membandingkan hasil ketelitian hasil pengukuran menggunakan 	Proses geotagging menggunakan software <i>Pix4d Mapper Pro</i> pada hasil foto	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil pemetaan menggunakan metode <i>fotogrametri</i> pada penelitian ini menghasilkan resolusi spasial yakni 4.4 Cm/Pixel. Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 1 	Survey pemetaan menggunakan <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i> jauh lebih cepat dan efisien berbeda dengan metode konvensional. Disamping menghemat waktu dan biaya, luas Universitas Sam Ratulangi yaitu 35 Ha dapat diselesaikan dengan waktu \pm 3 Jam dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan	Untuk penelitian selanjutnya diharapkan ada pengkajian terhadap kekuatan jaring titik <i>GCP (Strength Of Figure)</i> serta melakukan pre-analisis mengenai elips kesalahan yang dihasilkan tiap titik <i>Ground Control Point (GCP)</i> .

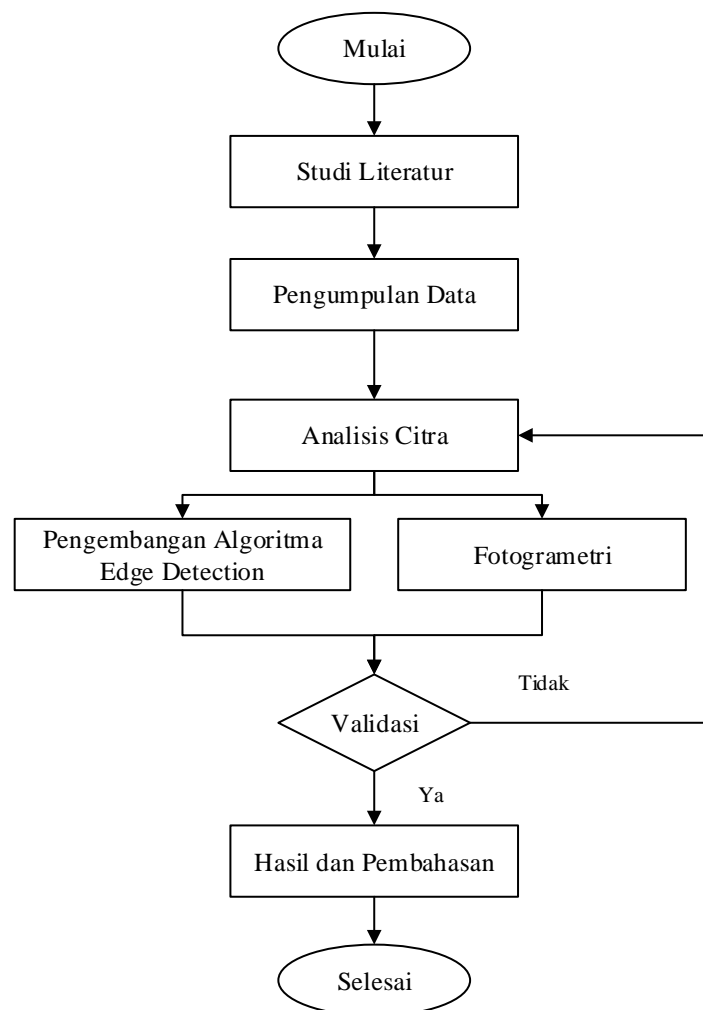
		<p><i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV) drone</i> menggunakan titik kontrol tanah (<i>GCP</i>) dan tanpa titik kontrol tanah (<i>GCP</i>).</p>		<p>dengan ketelitian maksimum sebesar 0,3 meter.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berdasarkan hasil uji akurasi, report <i>root mean square error (RMSe)</i> untuk ketelitian hasil pengukuran menggunakan <i>unmanned aerial vehicle (UAV) drone</i> menggunakan titik kontrol tanah (<i>GCP</i>) masuk dalam spesifikasi ketelitian geometri peta RBI skala 1 : 1000 sedangkan report error hasil pengukuran menggunakan <i>unmanned aerial vehicle (UAV) drone</i> tanpa titik kontrol tanah (<i>GCP</i>) tidak masuk dalam ketentuan ketelitian geometri peta RBI peta skala 1 : 1000. 	<p>menggunakan metode konvensional dengan memakan waktu + 2 Hari.</p>	
--	--	--	--	---	---	--

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini mengembangkan metode prediksi kelongsoran pada lereng menggunakan algoritma edge detection dan metode fotogrametri. Adapun langkah – langkah yang akan peneliti lakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 21. Tahapan Penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji penelitian-penelitian yang pernah dilakukan yang berkaitan dengan topik penelitian. Studi literatur ini digunakan sebagai bahan referensi dalam pelaksanaan penelitian dan mengkaitkannya antara satu dengan yang lainnya. Literatur diperoleh dari buku, jurnal, paper, dan artikel di internet.

3.1.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Data Primer

Data ini diperoleh secara langsung dari lapangan, data yang diperoleh antara lain :

- 1) Foto kondisi lereng berupa retakan dan kemiringan lereng
- 2) Pengukuran lereng secara langsung di lapangan untuk mendapatkan tinggi lereng serta sudut lereng kajian.
- 3) Pengujian sampel tanah di laboratorium untuk mendapatkan nilai sudut geser (ϕ) dan kohesi (c) yang didapatkan dengan pengujian secara langsung, yaitu dengan melakukan uji geser langsung (*direct shear test*).

b. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan informasi dan dokumentasi yang berasal dari :

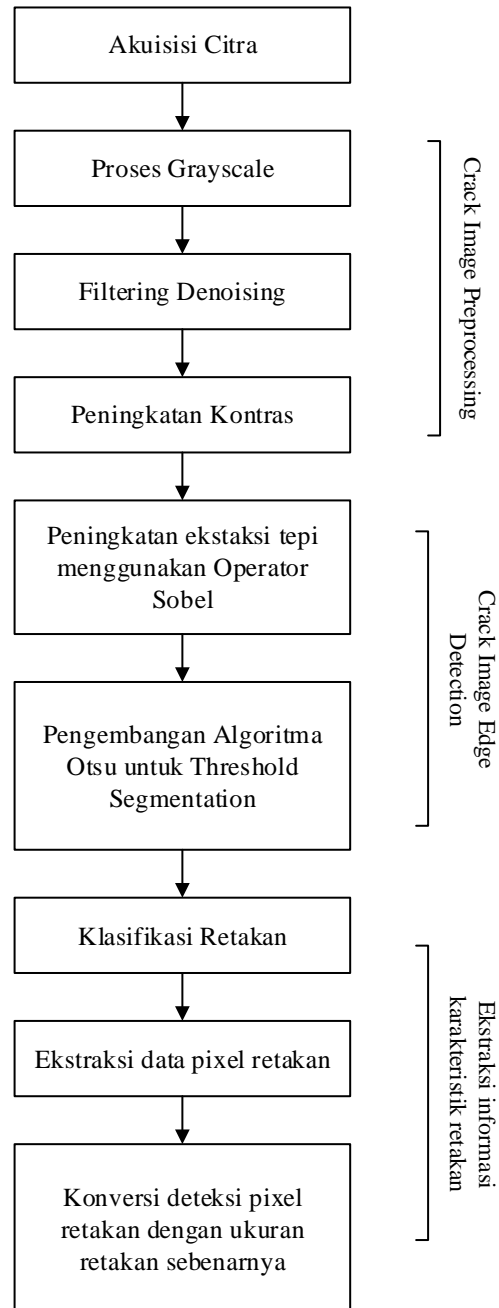
- 1) Data *properties* tanah terkait dengan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya.
- 2) Data tambahan berupa kontur dan potongan melintang lereng kajian untuk dianalisis kestabilannya.

3.1.3 Analisis citra

Analisis citra dilakukan menggunakan Algoritma Edge Detection untuk mendeteksi retakan yang terjadi pada lereng dan menggunakan Metode Fotogrametri untuk melihat adanya perbedaan tinggi muka tanah akibat pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi.

1. Algoritma Edge Detection

Langkah-langkah pendeteksian retakan pada lereng adalah sebagai berikut :



Gambar 22. Proses Pendeteksian Citra Retakan Pada Lereng

Proses pendeteksian citra retakan pada lereng setelah proses akuisisi citra terbagi menjadi 3 tahap, tahap pertama adalah pra prosesing gambar retakan, pada

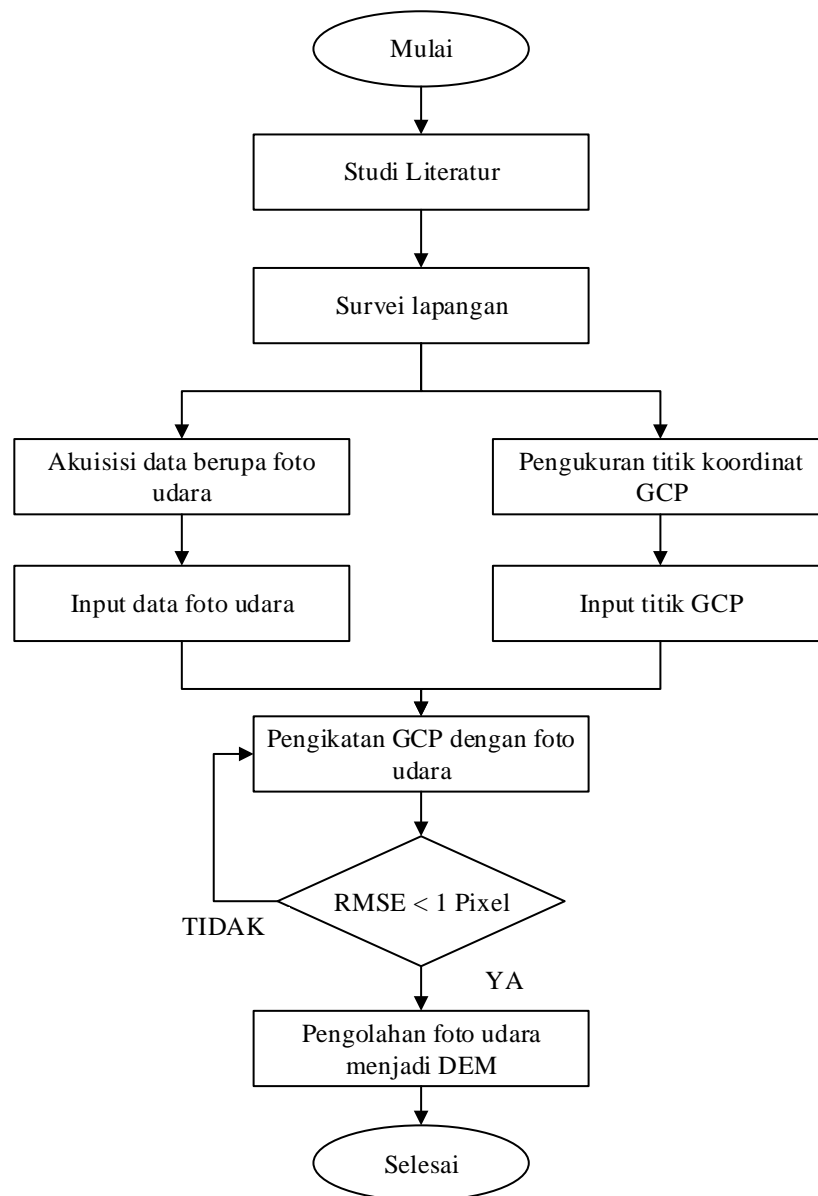
tahap ini gambar retakan yang telah diakuisisi menjadi citra digital dirubah dalam bentuk grayscale dan difilter untuk menghilangkan noise pada gambar, kemudian dilakukan peningkatan kontras agar detail retakan terlihat lebih jelas setelah proses penghilangan noise.

Setelah dilakukan pemfilteran terhadap noise dan peningkatan kontras, sehingga diperoleh gambar grayscale yang relative lebih jernih, maka tahap selanjutnya adalah melakukan ekstraksi dan segmentasi dengan menggunakan Operator Sobel dan Algoritma Otsu untuk dapat mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik dari retakan yang terjadi pada lereng.

Tahap ketiga adalah ekstraksi informasi karakteristik dari retakan. Pada tahap ini dilakukan klasifikasi retakan, seperti retakan memanjang, melintang, miring atau retikuler. Setelah proses ekstraksi karakteristik retakan, tahap selanjutnya dilakukan konversi jarak sehingga ukuran retakan sebenarnya dapat diperoleh dengan deteksi piksel retakan gambar.

2. Metode Fotogrametri

Langkah-langkah pendeteksian perbedaan tinggi muka tanah akibat pergerakan tanah (nendatan) adalah sebagai berikut :



Gambar 23. Proses Pendeteksian Perbedaan Tinggi Muka Tanah Akibat Pergerakan Tanah (Nendatan)

Proses Pendeteksian Perbedaan Tinggi Muka Tanah Akibat Pergerakan Tanah (Nendatan) dimulai dari studi literatur mengenai kegiatan – kegiatan terdahulu yang serupa dan sangat terkait dengan materi pada penelitian ini. Dilanjutkan dengan survey lapangan untuk mengetahui kondisi dan lingkungan sekitar lapangan. Nantinya informasi mengenai kondisi lapangan dapat digunakan sebagai referensi perencanaan titik GCP. Dilanjutkan dengan pengambilan foto

udara retakan pada lereng dan dilakukan pengukuran untuk mendapatkan titik koordinat Ground control point (GCP) menggunakan perangkat keras Global Navigation Satellite System (GNSS).

Tahap selanjutnya adalah pengolahan foto udara menggunakan software Agisoft Metashape. Dalam pengolahan foto udara terdapat tahap pengikatan titik kontrol (GCP) dengan foto udara. Ketelitian foto udara berdasarkan titik GCP merupakan ketelitian proses transformasi koordinat foto ke koordinat lapangan. Jadi koordinat yang foto diikatkan dengan koordinat GCP yang sudah sesuai dengan koordinat lapangan. Ketelitian foto udara berdasarkan titik GCP dapat didasari oleh ukuran piksel produk. Menurut Rachma, 2018 toleransi RMSE ketelitian pengikatan foto udara dengan GCP tidak lebih dari 1 piksel. Oleh karena itu, standar RMSE pengikatan GCP dalam penelitian ini adalah kurang dari 1 piksel. Langkah selanjutnya adalah pengolahan foto udara menjadi Digital Elevation Model (DEM) yang merupakan model digital yang merepresentasikan tiga dimensi dari permukaan bumi yang sangat berguna dalam memberikan gambaran topografi yang lebih baik dan data spasial yang lebih akurat sehingga nantinya dapat diketahui perbedaan tinggi muka tanah pada retakan akibat dari pergerakan tanah (nendatan).

3.1.4 Validasi

Validasi dilakukan untuk mengecek hasil analisis berdasarkan pengembangan algoritma tersebut, dengan cara membandingkan hasil pengembangan algoritma dengan perhitungan analisis stabilitas lereng analisis kestabilan lereng secara konvensional dan dengan bantuan software Geo Slope yang nantinya akan digunakan untuk memvalidasi pengembangan algoritma yang sudah dibuat.

3.1.5 Hasil dan pembahasan

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah retakan yang terjadi pada lereng dan perbedaan tinggi muka tanah pada retakan akibat dari pergerakan tanah (nendatan), sehingga dapat diketahui bidang longsor serta jangkauan kelongsoran

dari suatu lereng agar dapat dilakukan langkah-langkah pencegahan atau sistem peringatan dini jika lereng tersebut dinyatakan tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] A. Stumpf ., J.P. Malet., P. Allemand ., M. Pierrot Deseilligny & G. Skupinski. 2015. “Ground-based multi-view photogrammetry for the monitoring of landslide deformation and erosion”. *Elsevier B.V. Geomorphology* 231 (2015) 130–145.
- [2.] Abdel-Qader, I., Abudayyeh, O. and Kelly, M.E., 2003. “Analysis of edge-detection techniques for crack identification in bridges”. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 17(4), pp.255-263.
- [3.] Amalia, Dewi et al. 2019. “Application of Digital Image Technology for Determining Geometry, Stratigraphy, and Position Of Cracks Inside Earth Slope”. *International Journal of GEOMATE*, Vol.17, Issue 63, pp. 297 – 306. ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2019.63.25640>. Geotechnique, Construction Materials and Environment
- [4.] Amalia D., Mochtar I. B., and Mochtar, N. E. 2018. “Penerapan Konsep Baru Cracked Soils Pada Penanggulangan Kelongsoran Lereng”. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Vol. 9, 2017. pp. 50-62.
- [5.] BNPB. (2012). Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) No. 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Jakarta.
- [6.] Das, Braja M. 2002. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [7.] Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Penganggulangan Longsoran*, SKBI – 2.3.06.Yayasan Badan Penerbit PU.
- [8.] Hadi, B. S, 2007. *Dasar-Dasar Fotogrametri*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Geografi.
- [9.] Kusumanto, RD., Alan Novi Tompunu. 2011. “Pengolahan Citra Digital Untuk Mendeteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model

Normalisasi RGB“. *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan (Semantik 2011)*. ISBN 979-26-0255-0.

- [10.] Lenchman, J. B. and Griffiths, D. V. (2000). “Analysis of The Progression of Failure of The Earth Slopes By Finite Elements”. *Slope Stability 2000: Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000*, ASCE, Denver, pp. 250- 265.
- [11.] Lusiana, Veronica. 2013. “Deteksi Tepi pada Cotra Digital Menggunakan Metode Kirsch dan Robinson”. Teknik Informatika, Universitas Stikubank.
- [12.] McAndrew Alasdair, 2004, “*An Introduction to Digital Image Processing with Matlab. Notes for SCM2511 Image Processing 1*”. School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology.
- [13.] Muchtaranda, Ismail H & Tri Sulistyowati. 2021. “Pengaruh Retakan Permukaan Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Bukit Guntur Macan, Gunung Sari, Lombok Barat”. *Spektrum Sipil*, ISSN 1858-489. Vol. 8, No. 1 : 19 – 26. DOI <https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i1.185>
- [14.] Munir, Rinaldi. 2004. *Pengolahan Citra Digital*. Bandung: Informatika
- [15.] Musoffa, Muhammad Fikri., Abdi Sukmono & Zainul Ulum. 2021. “Kajian Pemanfaatan Metode Fotogrametri dengan Uav *Low Cost* untuk Pekerjaan Cut and Fill Pada Pembangunan Bandara Dhoho Kabupaten Kediri”. *Prosiding FIT ISI*. Vol 1, 2021 (332-339). ISSN 2809-1833
- [16.] Prayogo, I Putu Harianja., Fabian J. Manoppo & Lucia I. R. Lefrandt.. 2020. “Pemanfaatan Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter* dalam Pemetaan Digital (*Fotogrametri*) Menggunakan Kerangka *Ground Control Point (GCP)*”. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol.10 No.1, Mei 2020 (47-58), ISSN: 2087-9334
- [17.] Purnomo , Mauridhi Hery dan Arif Muntasa. 2010. *Konsep Pengolahan Citra Digital d.an Ekstraksi Fitur*. ISBN 978-979-756-682-1. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [18.] Putri, K. M., Subianto, S., & Suprayogi, A. 2017. “Pembuatan Peta Wisata Digital 3 Dimensi Obyek Wisata Brown Canyon Secara Interaktif Dengan Menggunakan Wahana *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*”. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(1), 85-92.

- [19.] Shaheen, Ahmed., Ahmed Farhat & Mohamed Marzouk. 2017. Detection and Quantification of Cracks in Reinforced Concrete Beams using Digital Image Processing Techniques. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*. Vol. 2 Issue 6. ISSN: 2456-3676
- [20.] Silmi, Frizkia Azifa & Indra Noer Hamdhan. 2018. “Pengaruh Tension Crack (Tegangan Retak) Pada Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga”. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. No. 1, Vol. 4.
- [21.] Suryowinoto, Andy et al. 2017. “Penggunaan Pengolahan Citra Digital Dengan Algoritma Edge Detection Dalam Mengidentifikasi Kerusakan Kontur Jalan“. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*. ISBN 978-602-98569-1-0.
- [22.] Sutoyo. T, Mulyanto. Edy, Suhartono. Vincent, Dwi Nurhayati Oky, Wijanarto. 2009. “ *Teori Pengolahan Citra Digital* ”. Yogyakarta dan UDINUS Semarang.
- [23.] Suyudi Bambang dan Subroto Tulus. 2014. “Fotogrametri dan Penginderaan jauh”. Yogyakarta : Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, 55293.
- [24.] Syauqani, Ahmad., Sawitri Subiyanto & Andri Suprayogi. 2017. “*Pengaruh Variasi Tinggi Terbang Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter Dji Phantom 3 Pro Pada Pembuatan Peta Orthofoto (Studi Kasus Kampus Universitas Diponegoro)*”. *Jurnal Geodesi UNDIP*. Volume 6, Nomor 1, Tahun 2017, (ISSN : 2337-845X)
- [25.] Wang, Honghui., Donglin Nie., Xianguo Tuo & Yunshun Zhong. 2020. “Research on crack monitoring at the trailing edge of landslides based on image processing”. *Springer-Verlag GmbH Germany*. DOI 10.1007/s10346-019-01335-z
- [26.] Wolf, P., R. 1993. *Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*, Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.