

PREDIKSI MODEL KELONGSORAN PADA LERENG BERDASARKAN RETAKAN DAN PERBEDAAN ELEVASI MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

PREDICTION OF SLIDING MODELS ON SLOPES BASED ON CRACKS AND ELEVATION DIFFERENCES USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

¹Ega Julia Fajarsari, ²Nuryanto, ³Edi Sukirman

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gunadarma, egajulia@staff.gunadarma.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gunadarma, nuryanto@staff.gunadarma.ac.id

³Program Pasca Sarjana Magister Sistem Informasi, Universitas Gunadarma, ediskm@staff.gunadarma.ac.id

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

Abstract

Landslides are one of the problems that often occur on natural and artificial slopes, and are one of the natural disasters that often occur in Indonesia, especially during the rainy season. The study of landslides has attracted a lot of attention from various parties. Such studies can effectively help authorities to take preventive measures and reduce the risk of failure or early warning systems. In the midst of increasingly rapid technological developments today, it is undeniable that the need for computerization in all aspects has increased. No exception in the field of Civil Engineering, one of which is the analysis of slope stability, the results of the analysis will be obtained more quickly by taking into account the condition of the slope if the analysis process is carried out in a computerized way compared to the analysis obtained from various conventional methods. One of the computerized methods that can be used is digital image processing. In this study, a landslide prediction method on slopes based on cracks will be developed using the Edge Detection Algorithm and Photogrammetry Method in order to assist related parties or local governments in preventing landslides for landslide-prone areas.

Keywords: landslides, cracks, Edge Detection Algorithm, Photogrammetric Method

PENDAHULUAN

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.

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 longsor, 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. Honghui Wang, dkk (2020) mengusulkan sebuah metode untuk mengidentifikasi retakan pada trailing edge dari longsor (TEL) berdasarkan teknologi pengolahan citra dan mengadopsi algoritma perbandingan median interval kustom (IMCA) untuk menghitung parameter gerakan retak, hasil dari penelitian tersebut adalah metode pengenalan kurva yang diusulkan dalam penelitian 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 longsor tanah. Pengguna (ahli geologi) hanya perlu mengumpulkan gambar selama pergerakan tanah longsor untuk menghasilkan data pemantauan retakan melalui perhitungan perangkat lunak. Akan tetapi, pada penelitian ini masih terdapat kekurangan yaitu sudut pandang dapat menyebabkan distorsi, karena penelitian ini menggunakan gambar multi-temporal, sulit untuk memastikan bahwa sudut pandang setiap foto adalah benar-benar

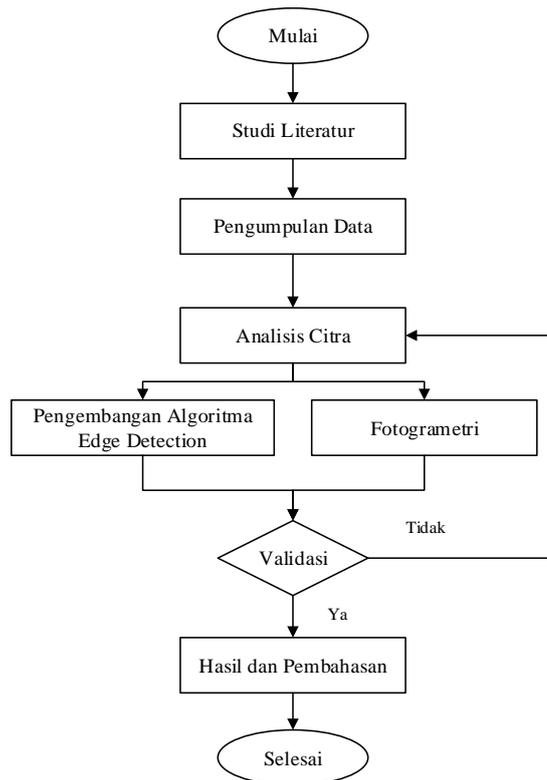
konsisten, yang akan mengarah pada pemantauan perpindahan distorsi. Selain itu, untuk tanah longsor besar atau tanah longsor dengan dimensi lateral yang besar, trailing edge mungkin melebihi sudut pandang kamera. Jenis tanah longsor dapat membatasi akurasi pemantauan, seperti longsor loess. Telah dilakukan penelitian menggunakan metode yang diusulkan dalam penelitian tersebut 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. Identifikasi kurva dan algoritma perbandingan median interval yang diusulkan dalam makalah ini untuk menghitung perubahan perpindahan retak pada trailing edge longsor perlu diuji lebih lanjut dan ditingkatkan. Dewi Amalia, dkk (2019) melakukan penelitian untuk menentukan geometri, stratigrafi, dan posisi retak di dalam lereng yang akan digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode geolistrik dan teknik pemrosesan gambar dengan ruang warna RGB (Merah, Hijau, dan Biru). Hasil dari penelitian ini adalah metode citra digital 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. 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. Yun Wang, dkk (2019) melakukan penelitian untuk mempelajari skema pemrosesan dan

peningkatan algoritma pada tiga tahapan 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 pada jembatan beton. Hasil dari penelitian ini adalah pada situasi aktual retak permukaan jembatan beton berdasarkan deteksi gambar, parameter karakteristik retak mencapai ekstraksi yang lebih akurat. Dalam penelitian tersebut, perbaikan telah dilakukan dalam denoising, peningkatan kontras, segmentasi tepi, pengenalan retak dan ekstraksi data deteksi gambar retak. Hasil percobaan 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 pada jembatan beton secara real-time.

Berdasarkan latar belakang diatas maka dalam penelitian ini akan dikembangkan metode prediksi kelongsoran pada lereng yang berdasarkan pada Algoritma *Edge Detection* untuk mengidentifikasi retakan yang ada pada lereng dan Metode Fotogrametri untuk mendeteksi perbedaan tinggi permukaan pada retakan tanah akibat dari pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi, agar dapat membantu pihak terkait atau pemerintah daerah dalam pencegahan terhadap kelongsoran untuk daerah rawan longsor.

METODOLOGI PENELITIAN

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



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahap pertama yang akan dilakukan adalah studi literatur. Pada tahap ini, akan dilakukan pengkajian terhadap 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. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

Data primer diperoleh secara langsung dari lapangan, data yang diperoleh adalah foto kondisi lereng berupa retakan dan kemiringan lereng, pengukuran lereng secara langsung di lapangan untuk mendapatkan tinggi lereng serta sudut lereng kajian dan 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). Sedangkan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan informasi dan dokumentasi seperti data *properties* tanah terkait dengan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya dan data tambahan berupa kontur dan potongan melintang lereng kajian untuk dianalisis kestabilannya.

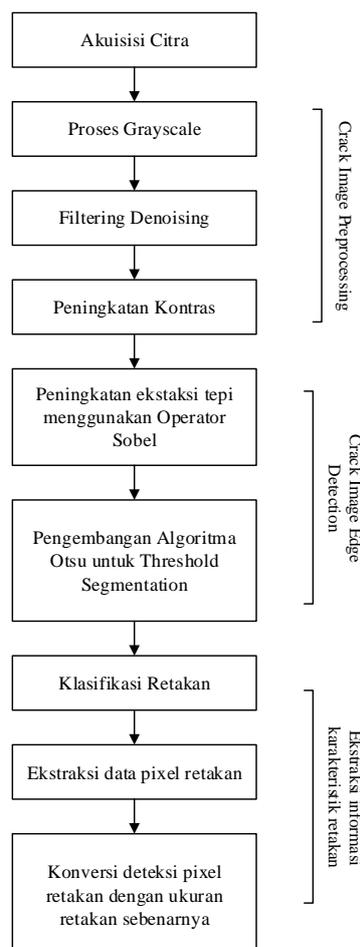
Tahap ketiga adalah analisis citra. Analisis citra dilakukan menggunakan Algoritma Edge Detection untuk mendeteksi retakan yang terjadi pada lereng dan menggunakan Metode Fotogrametri untuk melihat adanya perbedaan tinggi muka tanah akibat pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi. Setelah dilakukan analisis citra, maka tahap selanjutnya adalah validasi. Validasi dilakukan untuk mengecek hasil analisis berdasarkan pengembangan algoritma tersebut, dengan cara membandingkan hasil pengembangan metode prediksi kelongsoran dengan analisis kestabilan lereng secara konvensional dan dengan bantuan software

Geo Slope yang nantinya akan digunakan untuk memvalidasi pengembangan metode yang sudah dibuat. 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. Hasil dari penelitian ini adalah metode prediksi kelongsoran pada lereng berdasarkan pada identifikasi retakan yang terjadi pada lereng dan deteksi 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.

HASIL DAN PEMBAHASAN

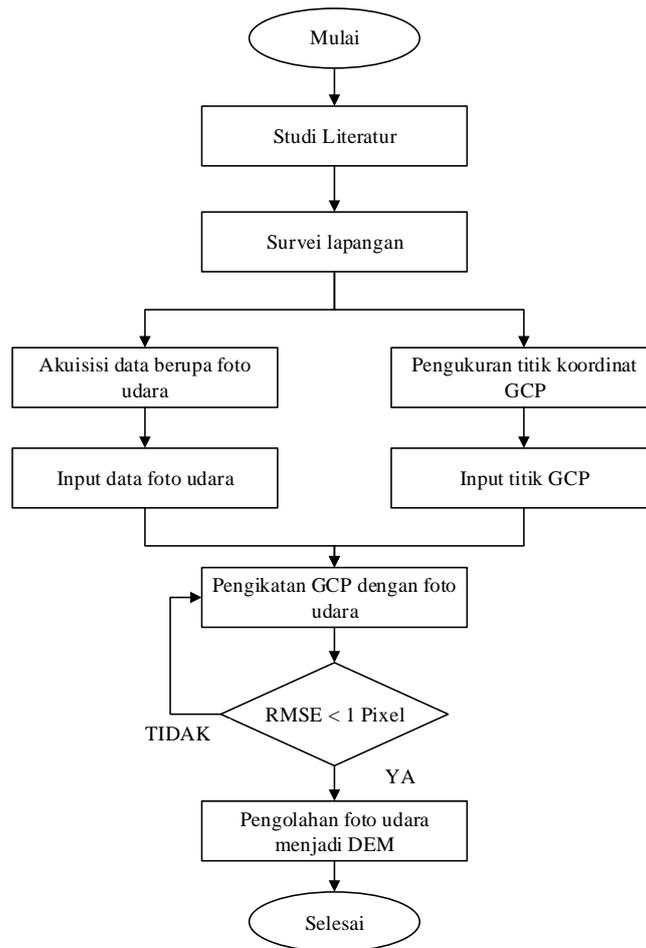
Penelitian ini akan menghasilkan metode prediksi kelongsoran pada lereng yang berdasarkan pada Algoritma *Edge Detection* untuk mengidentifikasi retakan yang ada pada lereng dan Metode Fotogrametri untuk mendeteksi perbedaan tinggi permukaan pada retakan tanah akibat dari pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi, agar dapat membantu pihak terkait atau pemerintah daerah dalam pencegahan terhadap kelongsoran untuk daerah rawan longsor. Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pendeteksian retakan pada lereng menggunakan Algoritma *Edge Detection* adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 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. Setelah dilakukan pendeteksian citra retakan pada lereng, maka selanjutnya akan dilakukan pendeteksian perbedaan tinggi muka tanah akibat pergerakan tanah (nendatan) menggunakan Metode Fotogrametri. Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Tahapan 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). 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).

SIMPULAN

. Hasil yang akan didapat dari penelitian ini adalah metode prediksi kelongsoran pada lereng yang berdasarkan pada Algoritma *Edge Detection* untuk mengidentifikasi retakan yang

ada pada lereng dan Metode Fotogrametri untuk mendeteksi perbedaan tinggi permukaan pada retakan tanah akibat dari pergerakan tanah (nendatan) yang terjadi, 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 untuk dapat membantu pihak terkait atau pemerintah daerah dalam pencegahan terhadap kelongsoran untuk daerah rawan longsor

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- Das, Braja M. (2002) *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987) *Petunjuk Perencanaan Penganggulangan Longsoran*, SKBI – 2.3.06. Yayasan Badan Penerbit PU.
- Hadi, B. S. (2007) *Dasar-Dasar Fotogrametri*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Geografi.
- 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.
- 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.
- Lusiana, Veronica. (2013) Deteksi Tepi pada Cotra Digital Menggunakan Metode Kirsch dan Robinson. Teknik Informatika, Universitas Stikubank.
- 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.
- 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>
- Munir, Rinaldi. (2004) *Pengolahan Citra Digital*. Bandung: Informatika
- 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
- 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
- Purnomo, Mauridhi Hery dan Arif Muntasa. (2010) *Konsep Pengolahan Citra Digital d.an Ekstraksi Fitur*. ISBN 978-979-756-682-1. Yogyakarta: Graha Ilmu
- 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.
- 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
- 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.

- 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.
- Sutoyo. T, Mulyanto. Edy, Suhartono. Vincent, Dwi Nurhayati Oky, Wijanarto. (2009) *Teori Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta dan UDINUS Semarang.
- Suyudi Bambang dan Subroto Tulus. (2014) *Fotogrametri dan Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, 55293.
- 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)
- 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
- 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.