

Identifikasi dan Klasifikasi Kerusakan Jalan Menggunakan Teknologi UAV–Quadcopters dengan Parameter Perubahan Tinggi Penerbangan

Edy Utomo¹, Muhammad Djaya Bakri*², Iif Ahmad Syarif³

¹Laboratorium Pemetaan dan Geografis Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

^{2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

email: *jayabakri@gmail.com

Received 31 February 2023; Reviewed 02 March 2023; Accepted 23 April 2023

Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Doi: <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.3429>

Abstract

The road is one of the important transportation media for the people of Tarakan City. Roads provide accessibility to increase economic and social activities, in addition to maintaining the continuity of the distribution of goods and services. Road performance is greatly influenced by the condition of the road pavement. Many roads suffer damage before their service life is complete. Therefore, identification of road damage is very important to do. In current technological developments, identification of road damage can be done by applying UAV-Quadcopters technology. UAV or SPUKTA is an unmanned aircraft capable of providing visual information from objects on the earth's surface. One type of UAV is Quadcopters or Drone with four propellers. UAV can be flown at several altitudes which will affect the resolution of the aerial photos. High resolution will facilitate the interpretation of road damage. Therefore, in this research a study was carried out related to the identification and classification of road damage with parameters of changes in UAV flight altitude. The results showed that the road surface of the research object was damaged by 1,67% of the road surface area, with an identification accuracy rate of 90% from the classification of road damage. Based on this, it is stated that UAV technology can be used to identify damage to the road surface.

Keywords: *Photogrametric, Identification, Road, Damage, Quadcopter*

Abstrak

Jalan merupakan salah satu media transportasi penting bagi masyarakat Kota Tarakan. Jalan menyediakan aksesibilitas untuk meningkatkan perekonomian dan kegiatan sosial, selain menjaga kesinambungan distribusi barang dan jasa. Kinerja jalan sangat dipengaruhi oleh kondisi perkerasan jalan. Banyak jalan mengalami kerusakan sebelum masa layannya selesai. Oleh sebab itu, identifikasi terhadap kerusakan jalan sangatlah penting untuk dilakukan. Pada perkembangan teknologi saat ini, identifikasi kerusakan jalan dapat dilakukan dengan penerapan teknologi UAV-Quadcopters. UAV atau SPUKTA merupakan pesawat tanpa awak yang mampu memberikan informasi visual dari objek di permukaan bumi. Salah satu tipe UAV adalah Quadcopters atau Drone dengan empat baling-baling. UAV dapat diterbangkan pada beberapa ketinggian yang akan berpengaruh pada resolusi hasil foto udara. Resolusi yang tinggi akan memudahkan proses interpretasi dari kerusakan jalan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan studi terkait identifikasi dan klasifikasi kerusakan jalan dengan parameter perubahan tinggi terbang UAV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permukaan jalan pada objek penelitian telah mengalami kerusakan sebesar 1,67% dari luas permukaan jalan, dengan tingkat akurasi identifikasi dari klasifikasi kerusakan jalan sebesar 90%. Berdasarkan hal tersebut maka dinyatakan bahwa teknologi UAV dapat digunakan untuk melakukan identifikasi dari kerusakan permukaan jalan.

Kata kunci: *Fotogrametri, Identifikasi, Jalan, Kerusakan, Quadcopter*

1. Pendahuluan

Pada tahun 2021 populasi masyarakat Kota Tarakan mengalami peningkatan, dari 242.800 jiwa di tahun 2020 menjadi 245.700 jiwa, dengan laju pertumbuhan penduduk per tahun 0,90% (BPS Kota Tarakan, 2022). Kebutuhan mobilitas penduduk diperkirakan juga akan ikut meningkat, sehingga kebutuhan perkembangan transportasi beserta infrastrukturnya perlu untuk ditingkatkan agar dapat menunjang pembangunan dan kehidupan sosial masyarakat. Transportasi yang merupakan penghubung antar wilayah dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat, dengan kondisi transportasi yang baik, maka dapat meningkatkan kinerja angkutan untuk melayani masyarakat (Rokhman dkk., 2022). Salah satu media transportasi masyarakat di Kota Tarakan adalah jalan raya. Jalan merupakan infrastruktur yang menyediakan aksesibilitas untuk meningkatkan perekonomian dan kegiatan sosial (Mandaya & Harintaka, 2020). Prasarana perhubungan darat ini sangat berperan penting dalam menjaga kesinambungan distribusi barang dan jasa, peningkatan laju pertumbuhan ekonomi, dan meningkatkan keterjangkauan daerah terpencil (Hendarsin & Shirley, 2000).

Kinerja jalan sangat dipengaruhi oleh kondisi perkerasan yang digunakan. Perkerasan jalan merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral pada badan jalan. Lalu lintas akan langsung terkonsentrasi pada bagian perkerasan ini, yang merupakan urat nadi dari konstruksi jalan. Perkerasan jalan dalam kondisi baik maka arus lalu lintas akan berjalan dengan lancar, namun apabila perkerasan jalan rusak, kondisi lalu lintas akan sangat terganggu (Saodang, 2005). Usia perkerasan jalan terkadang tidak sesuai dengan yang direncanakan. Banyak jalan mengalami kerusakan sebelum masa layannya selesai. Faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, cuaca, dan beban lalu lintas kendaraan memberikan pengaruh pada struktur perkerasan lentur, sehingga menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan (Herold & Roberts, 2005). Oleh sebab itu, identifikasi terhadap kerusakan jalan sangatlah penting untuk dilakukan guna memberikan informasi terkait pemantauan kondisi jalan, pemeliharaan, dan manajemen (Bandara & Gunaratne, 2001).

Identifikasi kerusakan perkerasan dapat dilakukan dengan beragam cara, salah satunya adalah metode survei langsung yang membutuhkan waktu cukup lama. Oleh sebab itu, baru-baru ini diperkenalkan metode identifikasi kerusakan jalan dengan menerapkan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) (Mandaya & Harintaka, 2020). UAV telah banyak difungsikan untuk keperluan identifikasi pemetaan, dengan beragam bentuk dan dapat terbang dengan membawa sensor kamera. UAV memberikan daya tarik tersendiri bagi para penggunanya sehingga dapat melakukan penelitian dengan cara yang lebih fleksibel (Everaerts, 2008). Penggunaan UAV untuk inspeksi jalan raya bertujuan untuk mengetahui kondisi asal dari jalan raya dengan memanfaatkan informasi yang diperoleh, serta dapat juga digunakan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait kondisi jalan (Firdaus dkk., 2020).

Pada dunia penerbangan di Indonesia UAV disebut dengan istilah SPUKTA (Sistem Pesawat Udara Kecil Tanpa Awak). Salah satu jenis SPUKTA yang mudah untuk didapatkan adalah Multi-rotor SPUKTA. Tipe ini memiliki lebih dari satu mesin penggerak yang berputar secara vertikal untuk lepas landas, mendarat, terbang, dan melayang. Salah satu jenis Multi-rotor SPUKTA ini adalah *Quadcopters* (dengan 4 rotor) yang sesuai untuk digunakan dalam kegiatan fotografi udara dan inspeksi, karena memberikan kontrol yang lebih stabil terhadap posisinya (Asosiasi Pilot Drone Indonesia, 2022). Selain itu, kelebihan utama dari *Quadcopters* adalah kemampuannya untuk terbang ke segala arah, mengudara tanpa landasan pacu serta kemampuan bergerak secara vertikal dan horizontal yang mulus. Ditambah lagi dengan adanya perangkat otomatis dengan sistem GPS (*Global Positioning System*) yang terpasang sehingga dapat menciptakan misi penerbangan otomatis dan aman (Andaru & Rokhmana, 2012).

Output utama dari identifikasi dengan menerapkan teknologi UAV ini adalah hasil foto udara. Sehingga metode pengukuran dan pengolahan objek disebut dengan fotogrametri. Fotogrametri merupakan seni dan ilmu untuk memperoleh informasi terpercaya terkait permukaan dan objek melalui fotografi, bukan bersentuhan langsung dengan objek (Roziqin dkk., 2022). Oleh sebab itu,

hasil pengukuran akan berhubungan erat dengan resolusi yang dihasilkan dari kamera UAV. Selain dari kualitas kamera yang digunakan, faktor cuaca dan ketinggian terbang UAV juga akan memberikan pengaruh pada hasil foto udara. Beberapa tipe UAV juga memberikan hasil resolusi yang berbeda-beda. Pada *Quadcopters* hasil rakitan resolusi foto berkisar 10-20 cm/piksel dengan ketinggian terbang 50-100 meter (Andaru & Rokhmana, 2012). UAV dengan tipe Phantom 4 Pro pabrikan mampu memberikan resolusi 1,59 cm/piksel pada ketinggian terbang 50 meter (Roziqin dkk., 2022). Oleh sebab itu ketinggian terbang yang berbeda tentu akan mempengaruhi hasil pengukuran dan pengolahan data foto udara. Diperkirakan semakin tinggi UAV melakukan pengambilan data maka resolusi yang dihasilkan akan semakin berkurang, dan akan memberikan kesulitan dalam analisis interpretasi pada proses identifikasi.

Berdasarkan ilustrasi pada paragraf sebelumnya, maka dalam penelitian ini mencoba untuk melakukan kajian terkait proses identifikasi dan klasifikasi kerusakan jalan dengan menerapkan teknologi UAV-*Quadcopters* pada beberapa ketinggian terbang, sehingga penelitian ini dapat memberikan 2 (dua) informasi, yaitu titik lokasi, jenis, dan dimensi kerusakan jalan, serta perbedaan hasil interpretasi citra dari perubahan parameter ketinggian penerbangan UAV, dengan hipotesa semakin tinggi UAV diterbangkan maka hasil interpretasi semakin berkurang tingkat akurasi.

2. Metode Penelitian

2.1. Objek Penelitian

Objek jalan dalam penelitian ini adalah *ring road* Kota Tarakan, yang terletak di daerah Pantai Amal Baru menuju Binalatung. *Ring road* Kota Tarakan merupakan jalan vital untuk kehidupan perekonomian masyarakat. Jalan ini menghubungkan potensi sumber daya pesisir dan kelautan yang digunakan oleh para petani rumput laut, dan nelayan untuk mendistribusikan hasil budidaya dan tangkapannya (Bakri & Prihartanto, 2020). Pada penelitian sebelumnya, percobaan pemanfaatan teknologi UAV untuk identifikasi kerusakan jalan hanya melakukan akusisi foto udara sepanjang 100 meter (Mandaya & Harintaka, 2020). Pada penelitian ini mencoba untuk meningkatkan jangkauan akusisi foto udara, dengan jangkauan mencapai ± 850 meter, yang dimulai pada koordinat E.572944, N. 367981, dan diakhiri pada koordinat E. 573017, N. 368968.

2.2. Rencana Penerbangan UAV-*Quadcopters*

Pada penelitian sebelumnya akusisi foto udara diambil pada ketinggian 50 meter dan memberikan resolusi 1,59 cm/piksel (Roziqin dkk., 2022), kondisi resolusi yang tinggi akan membutuhkan kapasitas komputer yang besar dalam proses ekstraksi data foto udara. Pada penggunaan UAV-*Quadcopters* tipe DJI Mavic Air 2 dengan ketinggian terbang 120 meter mampu memberikan resolusi *orthophoto* sebesar 5 cm/piksel pada misi penerbangan *front overlap* 75% dan *side overlap* 70% (Utomo dkk., 2023). Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini ketinggian terbang UAV akan divariasikan untuk mengetahui perbandingan hasil interpretasi kerusakan pada jalan yang lebih akurat. Ketinggian terbang maksimum yang digunakan adalah 100 meter yang diukur dari titik awal *take off*. Ketinggian ini masih di bawah dari batas ketinggian pengoperasian UAV yang berada pada ruang udara Indonesia (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 37 Tahun, 2020). Sedangkan ketinggian terbang minimum ditetapkan pada ketinggian 50 meter dari titik *take off*.

Setiap foto udara akan diambil secara otomatis, dengan penyesuaian terhadap tinggi terbang, kecepatan, dan persentase *overlap*. Penentuan waktu pengambilan foto dihitung dengan persamaan (1) dan jarak sisi antara jalur terbang UAV dihitung dengan persamaan (2) (Wahyono & Suyudi, 2017).

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

dengan: B adalah lebar *overlap* yang ditentukan dengan persamaan $(100 - PE)\% \times GB$ dalam satuan meter; GB adalah lebar foto pada skala sesungguhnya rasio dari ketinggian terbang UAV dalam satuan meter, PE adalah persentase *overlap* depan, dan V_s adalah kecepatan terbang UAV saat operasi pengambilan foto udara (20 km/h atau 5,56 m/s).

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

dengan: W adalah jarak antara jalur terbang UAV dalam satuan meter, GH adalah Panjang foto pada skala sesungguhnya, rasio dari ketinggian terbang UAV, dan PS adalah persentase *overlap* samping. UAV akan diterbangkan mengikuti garis tengah jalan dari titik awal hingga ke titik akhir. Adapun beberapa parameter yang digunakan sebagai input dalam misi penerbangan otomatis ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter rencana penerbangan UAV pada tiga variasi ketinggian terbang

Ketinggian UAV (M)	Capture Time (s)	Jarak antar jalur terbang (M)	Luas pengambilan 1 foto (Ha)
50	1,78	21,13 \approx 20,00	0,27
75	2,68	31,79 \approx 30,00	0,61
100	3,58	42,44 \approx 40,00	1,09

Misi penerbangan di atur secara otomatis pada sistem *waypoint* dengan bantuan perangkat lunak *Litchi*. Jarak antar *waypoint* akan diatur menyesuaikan titik station dan rintangan maupun pembelokan jalan yang ada di lokasi penelitian. Selain itu, sebagai titik kontrol di sepanjang jalur penerbangan dipasang GCP sebagai koordinat referensi. Waktu pelaksanaan penerbangan dilakukan pada hari yang sama pada cuaca cerah dengan durasi mulai pukul 08.00 sampai dengan 11.00 waktu setempat untuk menghindari pengaruh dari bayangan awan (Mandaya & Harintaka, 2020).

2.3. Pengolahan Foto Udara

Proses pengolahan data foto udara mengacu pada tahapan yang diberikan oleh (Utomo, Hidayat, dkk., 2022). Namun hanya dilakukan 1 (satu) kali *running step*, dengan melakukan proses retifikasi titik koordinat referensi dari GCP di awal proses penggabungan foto udara. Proses *clustering* juga dilakukan, hal ini agar hasil *dense clouds* dapat dibedakan antara posisi elevasi tanah dengan titik elevasi yang dihasilkan dari vegetasi, pohon dan bangunan. Sehingga akan didapatkan nilai DTM (*Digital Terrain Model*) yang lebih aktual (Utomo, Hidayat, dkk., 2022). Pengolahan foto udara ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Agisoft Photoscan*, dengan hasil akhir adalah *orthophoto* dan raster DTM.

2.4. Teknik Identifikasi dan Klasifikasi Kerusakan Jalan

Identifikasi kerusakan jalan dilakukan pada hasil *orthophoto* yang didapatkan dari hasil pengolahan foto udara berdasarkan ketinggiannya masing-masing. Teknik yang digunakan dalam identifikasi ini adalah teknik interpretasi citra. Teknik ini digunakan untuk menganalisis objek pada citra berdasarkan unsur-unsur interpretasi, yang antara lain terdiri atas warna, ukuran, bentuk, pola, tekstur dan bayangan yang dipadukan dengan konteks visual (Mandaya & Harintaka, 2020). Identifikasi juga dilakukan dengan mendata ukuran panjang, lebar dan luas terhadap setiap kerusakan yang tampak pada hasil *orthophoto*, untuk luasan kerusakan permukaan jalan dihitung berdasarkan bidang kerusakan yang dibentuk dengan menerapkan teknik digitasi *on-screen*. Menurut Luthfina, dkk (2019), teknik digitasi merupakan proses merubah fitur geografis citra raster ke bentuk vektor yang memiliki informasi titik koordinat pusat bidang dan luasan dari bidang yang dibentuk (Utomo, Fadila, dkk., 2022).

Setiap hasil identifikasi kemudian diklasifikasikan menurut jenis dan bentuk kerusakannya. Klasifikasi kerusakan pada perkerasan jalan lentur antara lain: retak kulit buaya, kegemukan, retak blok, tonjolan dan lengkungan, keriting, amblas, retak tepi, retak refleksi sambungan, penurunan

bahu jalan, retak memanjang / melintang, tambalan dan galian utilitas, pengausan, lubang, persilangan jalan rel, alur, sungkur, retak selip, pengembangan, dan pelapukan pelapasan butir (Yunardhi dkk., 2018).

2.5. Teknik Uji Akurasi dan Validasi

Uji akurasi perlu untuk dilakukan untuk mendapatkan hasil foto udara yang sesuai dengan kondisi lapangan. Uji akurasi dilakukan pada hasil *orthophoto* dari setiap ketinggian terbang yang dilakukan. Secara teknis uji akurasi dilakukan dengan membandingkan data yang diberikan dari *orthophoto* dengan kondisi lapangan (Putra dkk., 2016). Nilai akurasi yang memenuhi syarat adalah $> 90\%$, dengan menerapkan persamaan omisi dan komisi yang ditunjukkan pada persamaan (3) (Wulan dkk., 2016).

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

Dimana, Δ = Interpretasi – Lapangan. Uji akurasi dilakukan pada beberapa bagian geometrik jalan, dalam hal ini adalah lebar jalan yang sangat mudah untuk terdeteksi baik pada pengukuran lapangan maupun pada proses interpretasi.

Teknik lain dalam uji akurasi untuk validasi hasil *orthophoto* adalah dengan menggunakan metode RMSE (*Root mean square error*) yang dapat diselesaikan dengan persamaan (4) (Bakri dkk., 2023).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N [\hat{X}_i - X_i]^2 \right]} \quad (4)$$

Dimana, N adalah jumlah data, \hat{X}_i adalah data dilapangan (dapat berupa nilai koordinat maupun hasil pengukuran panjang objek), dan X_i adalah data pengukuran pada hasil pemodelan *orthophoto*. Selain validasi pada uji akurasi geometrik. Hasil interpretasi dengan klasifikasi kerusakan jalan yang terjadi juga perlu untuk dilakukan validasi. Pada validasi bentuk visualisasi citra dapat dilakukan dengan menerapkan metode *accuration assessment*, yang bertujuan untuk menentukan akurasi dari klasifikasi kerusakan jalan pada *orthophoto* dengan kondisi di lapangan (Selaby dkk., 2021). Penyelesaian metode *accuration assessment* dapat dilakukan dengan persamaan (5) berikut ini.

$$\text{Accuration assessment} = \frac{\Sigma \text{Titik sesuai dengan } \textit{groundchek}}{\Sigma \text{Semua titik uji}} \times 100\% \quad (5)$$

Nilai *accuration assessment* yang menyatakan bahwa hasil interpretasi telah akurat adalah $\geq 80\%$ (Rahmadany dkk., 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

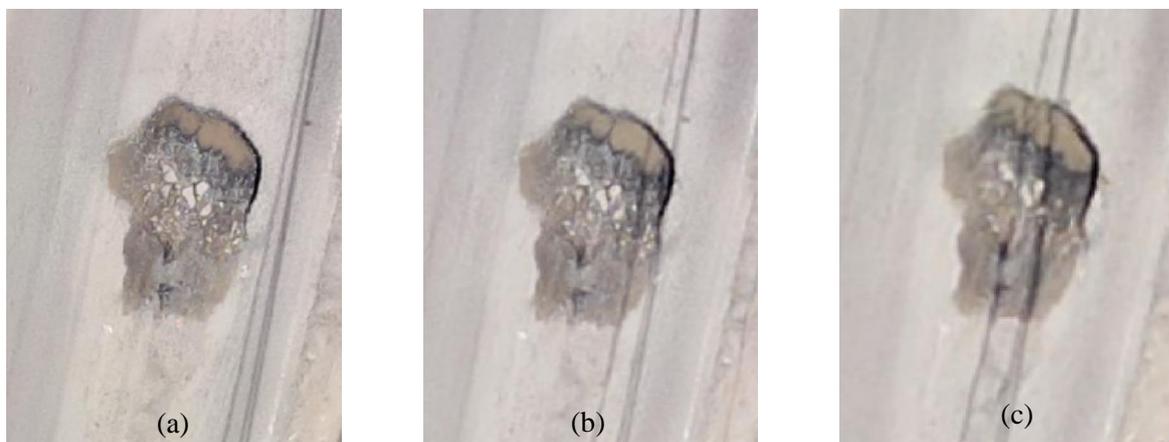
3.1. Hasil Pengolahan Foto Udara

Berdasarkan ketinggian terbang yang berbeda-beda, dilakukan penyatuan pada beberapa foto udara, untuk mendapatkan hasil ekstraksi *orthophoto*. Ketinggian terbang UAV yang berbeda menghasilkan jumlah foto udara yang juga berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh wilayah cakupan pengukuran akan semakin besar dengan ketinggian UAV yang semakin tinggi, sehingga dapat menghasilkan nilai resolusi *orthophoto* yang rendah. Hasil perbandingan jumlah foto dan ukuran resolusi dari setiap tinggi terbang yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perbedaan nilai resolusi *orthophoto* terhadap ketinggian terbang UAV

Ketinggian UAV (M)	Jumlah data Foto udara	Resolusi <i>orthophoto</i> (cm/piksel)	<i>Dense clouds</i> (point)
50	205	1,69	19.184.861
75	121	2,47	12.020.845
100	58	3,45	7.440.258

Berdasarkan hasil pembentukan *orthophoto* pada setiap parameter ketinggian terbang yang ditunjukkan pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa, ketinggian terbang UAV 50 meter akan menghimpun data foto udara lebih banyak, sehingga ekstraksi foto udara menjadi titik-titik *dense clouds* juga akan semakin banyak. Banyaknya foto dan *dense clouds* yang dihasilkan memberikan pengaruh pada waktu pengolahan foto udara. Namun, dengan ketinggian yang rendah maka akan menghasilkan resolusi yang jauh lebih baik dari pada misi penerbangan UAV pada ketinggian yang lainnya. Hasil gambaran perbedaan resolusi yang dihasilkan divisualisasikan pada salah satu bentuk kerusakan di lokasi penelitian, yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Visualisasi perbedaan resolusi *orthophoto*, (a) Altitude 50 m, (b) Altitude 75 m, & (c) Altitude (100 m)

Pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa, ketinggian terbang memberikan pengaruh pada hasil resolusi *orthophoto*. Pada ketinggian terbang 50 meter cukup memberikan kemudahan dalam proses interpretasi kerusakan jalan, karena resolusi yang dihasilkan sangat tinggi yaitu 1,69 cm/piksel. Sedangkan pada ketinggian terbang 75 meter, hasil citra cenderung sedikit memburam dari kondisi sebelumnya, begitu juga dengan ketinggian terbang 100 meter, yang menunjukkan hasil *orthophoto* lebih buram dari sebelumnya, dengan nilai resolusi 3,45 cm/piksel. Hal ini tentu saja akan sangat berpengaruh pada proses interpretasi dan digitasi terhadap kondisi kerusakan jalan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan uji akurasi pada setiap *orthophoto* yang dihasilkan.

3.2. Hasil Uji Akurasi dan Koreksi Koordinat Foto Udara

Uji akurasi hasil *orthophoto* pertama dilakukan pada ukuran geometrik jalan, yaitu lebar jalan pada setiap *station* pengukuran. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 (dua) kali, yaitu pengukuran langsung di lapangan, dan pengukuran melalui citra *orthophoto* berdasarkan ketinggiannya masing-masing. Persamaan yang digunakan dalam uji akurasi geometrik ini adalah persamaan (3), dengan hasil uji akurasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji akurasi *orthophoto* pada geometrik lebar jalan

STA	Pengukuran <i>Orthophoto</i> (Meter)			Pengukuran Lapangan (Meter)	Akurasi (%)		
	Alt.50 M	Alt.75 M	Alt.100 M		Alt.50 M	Alt.75 M	Alt.100 M
0±000	6,01	6,13	6,10	5,70	94,61	92,49	92,99
0+050	5,97	6,02	6,03	5,70	95,28	94,33	94,15
0+100	5,57	5,64	5,58	5,90	94,37	95,61	94,52
0+150	5,55	5,64	5,51	5,90	94,14	95,60	93,45
0+200	5,53	5,58	5,53	5,60	98,76	99,66	98,80
0+250	5,52	5,48	5,63	5,60	98,59	97,85	99,42
0+300	5,06	5,08	5,00	5,50	92,06	92,41	90,90
0+350	5,81	5,83	5,76	5,50	94,32	94,02	95,24
0+400	6,14	6,18	6,21	5,60	90,44	89,57	89,07
0+450	6,00	5,97	5,98	5,60	92,92	93,42	93,26
0+500	6,16	6,31	6,24	5,80	93,80	91,19	92,49
0+550	5,91	5,95	6,04	5,80	98,02	97,40	95,87
0+600	5,98	5,98	6,26	5,90	98,60	98,66	93,93
0+650	6,00	6,02	6,11	5,90	98,33	97,91	96,40
0+700	5,63	5,45	5,53	5,70	98,80	95,65	97,10
0+750	5,67	5,67	5,58	5,70	99,41	99,51	97,92
0+800	6,04	6,05	6,13	5,70	94,07	93,94	92,47
0+850	6,05	6,08	6,06	5,70	93,83	93,38	93,77
	Rerata				95,58	95,14	94,54

Keterangan: Alt = Altitude: Tinggi terbang UAV

Syarat terpenuhinya persamaan omisi dan komisi, dalam uji akurasi adalah $> 90\%$ (Wulansari, 2017). Berdasarkan Tabel 3 didapatkan hasil bahwa untuk seluruh parameter tinggi terbang, menghasilkan akurasi $>90\%$. Namun, akurasi terbaik adalah pada ketinggian 50 meter dari titik *take off* UAV, dengan nilai akurasi sebesar 95,58%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah UAV diterbangkan akan memberikan akurasi yang semakin baik.

Pada proses uji akurasi juga ditemukan kondisi omisi dan komisi. Omisi berarti nilai pengukuran interpretasi citra lebih pendek dari pengukuran lapangan, sehingga akan menghasilkan nilai negatif (-) yang dianggap menjadi mutlak sehingga dapat dihitung persentase akurasinya. Sedangkan kondisi komisi berarti nilai pengukuran interpretasi citra lebih panjang dari pengukuran lapangan, sehingga akan langsung mendapatkan nilai positif (+). Hal ini tervalidasi dengan pernyataan bahwa nilai akurasi 100% menunjukkan hasil pengukuran yang sama antara interpretasi citra dengan pengukuran langsung di lapangan.

Selain melakukan uji akurasi dengan persamaan omisi dan komisi, hasil *orthophoto* juga dilakukan uji validasi dengan metode RMSE. Pengujian dilakukan pada titik-titik GCP yang terpasang di lokasi penelitian. Jumlah GCP adalah sebanyak 9 (Sembilan) titik, yang diukur titik koordinatnya menggunakan *Hand GPS*. Validasi ini dilakukan selain untuk mengukur akurasi dari koordinat yang akan digunakan dalam peta, juga bertujuan untuk melakukan koreksi terhadap hasil *orthophoto* agar dapat memiliki referensi koordinat yang sesuai dengan kondisi di lapangan. *Orthophoto* akan dapat digunakan, apabila nilai RMSE setelah dilakukan koreksi akan lebih kecil daripada nilai RMSE sebelum dikoreksi, dengan demikian nilai koefisien koreksi dapat digunakan atau dinyatakan benar (Soentoro dkk., 2015). Adapun hasil koreksi RMSE ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji koreksi koordinat GCP

Ketinggian terbang UAV	RMSE		
	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	Rerata
Sebelum dilakukan koreksi koordinat:			
Altitude. 50 Meter	8,205	1,439	4,822
Altitude. 70 Meter	10,187	1,853	6,020
Altitude. 100 Meter	11,124	15,318	13,221
Setelah dilakukan koreksi koordinat:			
Altitude. 50 Meter	0,653	0,253	0,453
Altitude. 70 Meter	0,184	0,092	0,138
Altitude. 100 Meter	0,147	0,048	0,097

Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan nilai RMSE untuk masing-masing koordinat pada hasil *orthophoto* dari UAV. Pada *orthophoto* dengan kondisi sebelum dilakukan koreksi, nilai RMSE cenderung menunjukkan nilai > 1 . Hal ini menunjukkan bahwa terjadi ketidak sesuaian pada nilai koordinat yang tertera pada data foto udara dengan koordinat hasil pengukuran di lapangan menggunakan *Hand GPS*. Sehingga *orthophoto* yang dihasilkan harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koordinat hasil pembacaan di lapangan sebelum dapat digunakan pada tahap selanjutnya. Setelah koreksi dilakukan, nilai RMSE yang dihasilkan cenderung rendah mendekati 1 atau < 1 . Hal ini menunjukkan bahwa posisi GCP pada foto udara telah dikoreksikan dengan kondisi di lapangan, sehingga *orthophoto* dapat digunakan.

3.3. Hasil Identifikasi dan Klasifikasi Kerusakan Jalan

Panjang pengamatan pada jalan untuk identifikasi dan klasifikasi kerusakan dilakukan pada jalan sepanjang 850 meter. Agar dapat mempermudah proses dalam identifikasi, *RGB composite* dari *orthophoto* diubah dari komposisi awal menggunakan komposisi RGB band 1, band 2, dan band 3, menjadi komposisi RGB band 3, band 2, dan band 1, sehingga citra akan memberikan visualisasi yang jelas pada bentuk kerusakan. Selain itu, karena lokasi penelitian berada pada pesisir pantai, sehingga pengaruh pencahayaan matahari cukup besar, maka pengaturan kontras dan pencahayaan juga diubah, dengan pengaturan kontras ditingkatkan menjadi +40% dan pengaturan pencahayaan diturunkan menjadi -20%. Karena resolusi *orthophoto* terbaik terjadi pada foto udara yang diambil pada ketinggian terbang 50 meter, maka proses identifikasi untuk menentukan klasifikasi kerusakan jalan dilakukan pada hasil *orthophoto* tersebut.

Berdasarkan interpretasi yang dilakukan pada bidang permukaan jalan, didapatkan 53 titik kerusakan yang tersebar, dimulai dari STA 0+000 sampai dengan STA 0+850. Pada 53 titik kerusakan tersebut terindikasi terdiri dari 6 (enam) klasifikasi kerusakan, dengan jumlah masing-masing klasifikasi kerusakan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil interpretasi klasifikasi kerusakan jalan

Jenis klasifikasi kerusakan	Jumlah	Persentase Jumlah	Luas Indikatif (m ²)
<i>Alligator Cracking</i> (Retak Kulit Buaya)	26	49,06	27,35
<i>Depression</i> (Amblas)	1	1,89	0,50
<i>Edge Cracking</i> (Retak Tepi)	4	7,55	5,80
<i>Patch</i> (Tambalan)	7	13,21	18,70
<i>Potholes</i> (Berlubang)	14	26,42	22,51
<i>Shoving</i> (Sungkur)	1	1,89	4,23
Total	53	100,00	79,09

Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa 49,06% jenis kerusakan merupakan jenis kerusakan retak, dengan klasifikasi *Alligator cracking*. Dominasi kerusakan kedua adalah *Potholes* dengan persentase 26,42%, dan *Patch* memiliki persentase 13,21%. Berdasarkan perhitungan luas indikatif dengan teknik digitasi *on screen*, luas total permukaan perkerasan jalan yang diidentifikasi adalah sebesar 4.741,47 m², dimana pada area tersebut tersebar kerusakan-kerusakan dengan luas indikatif sebesar 79,09 m². Hal ini menunjukkan bahwa pada permukaan jalan yang menjadi objek penelitian teridentifikasi 1,67% telah mengalami kerusakan, dengan penyebaran klasifikasi kerusakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Sebaran kerusakan jalan terlihat hampir di sepanjang jalan, visualisasi sebaran kerusakan jalan ditunjukkan pada Gambar 2 yang merupakan tangkapan layar dari proses analisis dalam penelitian ini. Pada Gambar 2 hanya ditampilkan beberapa segmen dari objek penelitian dengan panjang wilayah analisis adalah 850 meter.



Gambar 2. Tangkapan layar dari proses identifikasi kerusakan jalan di lokasi penelitian

Pada Gambar 2 ditunjukkan visualisasi sebaran titik kerusakan pada perkerasan jalan di lokasi penelitian. Pada visualisasi tersebut hanya ditunjukkan sebagian dari objek yang diidentifikasi. Visualisasi yang ditunjukkan bukan merupakan hasil asli dari pembentukan *orthophoto* dari tangkapan kamera UAV pada ketinggian 50 meter, melainkan hasil perubahan *RGB composite* atau *composite band*. Hal ini dapat memberikan kejelasan terhadap batas antara objek jalan dengan vegetasi yang berada disekitarnya.

Kesulitan yang ditemui pada proses interpretasi kerusakan adalah adanya bayangan dari objek vegetasi di sisi jalan. Hal ini menyebabkan kesamaran dalam proses identifikasi, sehingga hasil yang diberikan belum dapat diterima secara mutlak, sebelum dilakukan uji akurasi/validasi terhadap hasil interpretasi klasifikasi kerusakan yang terjadi. Namun, secara efektifitas pekerjaan, penggunaan UAV untuk identifikasi sangat memberikan keuntungan karena dapat melakukan identifikasi pada skala cakupan yang lebih luas dengan penggunaan tenaga kerja yang minimal, serta tidak membutuhkan waktu yang lama.

3.4. Hasil Uji Akurasi Interpretasi Klasifikasi Kerusakan Jalan

Uji akurasi interpretasi klasifikasi kerusakan jalan dilakukan pada 20 titik sampel kerusakan jalan. Titik-titik ini mewakili beberapa jenis klasifikasi yang dianggap memiliki potensi akan semakin bertambah besar dan terdapat beberapa titik yang memang sangat jelas menampilkan bentuk kerusakan. Hasil pengujian validasi sampel titik-titik tersebut ditunjukkan pada Tabel 6 dengan menerapkan metode *Accuration assessment* dalam prosesnya.

Tabel 6. Hasil uji validasi interpretasi kerusakan jalan

No. Titik	Easting (x)	Northing (y)	Klasifikasi Kerusakan	Hasil Assessment
1	572952	368034	<i>Patch</i> (Tambalan)	Sesuai
4	572951	368053	<i>Potholes</i> (Lubang)	Sesuai
6	572952	368062	<i>Patch</i> (Tambalan)	Sesuai
8	572951	368068	<i>Potholes</i> (Lubang)	Sesuai
10	572952	368084	<i>Depression</i> (Amblas)	Tidak Sesuai
11	572953	368096	<i>Potholes</i> (Lubang)	Sesuai
17	572962	368150	<i>Edge Cracking</i> (Retak Tepi)	Sesuai
18	572964	368149	<i>Shoving</i> (Sungkur)	Sesuai
19	572967	368147	<i>Edge Cracking</i> (Retak Tepi)	Sesuai
21	572973	368190	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
22	572977	368195	<i>Potholes</i> (Lubang)	Sesuai
24	572980	368206	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
25	572982	368224	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
28	572983	368247	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
29	572984	368249	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
31	572984	368263	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
34	572986	368286	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
41	573006	368501	<i>Alligator Cracking</i>	Sesuai
45	573008	368538	<i>Potholes</i> (Lubang)	Tidak Sesuai
52	572976	368851	<i>Edge Cracking</i> (Retak Tepi)	Sesuai
Jumlah titik sampel pengamatan klasifikasi kerusakan jalan				20
Jumlah hasil pengamatan yang benar/sesuai				18
<i>Accuration assessment</i>				90%

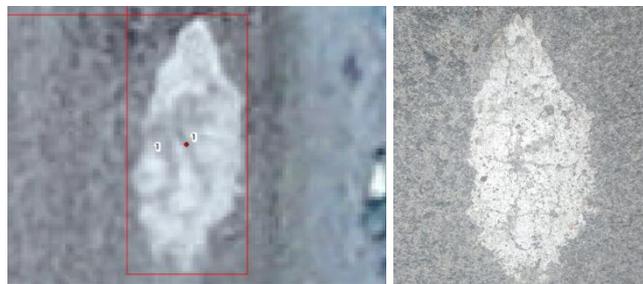
Berdasarkan uji validasi yang dilakukan terhadap interpretasi klasifikasi kerusakan yang terjadi terdapat 2 (dua) titik sampel yang tidak sesuai dengan kondisi di lapangan, yaitu pada titik 10 dan titik 45. Pada titik 10 hasil interpretasi menyatakan bahwa klasifikasi kerusakan adalah bentuk *depression* (amblas), namun setelah dilakukan validasi di lapangan menyatakan bahwa jenis kerusakan yang terjadi adalah *potholes* (lubang). Sedangkan pada titik sampel 45, validasi lapangan menyatakan bahwa yang tampak bukanlah bentuk kerusakan pada jalan, melainkan bayangan dari beberapa objek di sekitar titik sampel.

Berdasarkan hal tersebut dan hasil perhitungan validasi interpretasi dengan metode *accuration assessment* pada 20 titik sampel menunjukkan tingkat akurasi 90%. Nilai akurasi yang dihasilkan ini telah melebihi batas minimal dari nilai yang disyaratkan yaitu 80%, sehingga dapat dinyatakan bahwa interpretasi klasifikasi kerusakan dengan teknologi UAV- *quadcopter* memberikan hasil yang akurat, dengan memanfaatkan citra *orthophoto* yang diambil pada ketinggian terbang 50 meter. Adapun perbedaan bentuk objek dari citra *orthophoto* yang digunakan dalam proses interpretasi dengan foto kondisi lapangan ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Perbedaan hasil orthophoto dengan kondisi lapangan (titik 10)

Pada Gambar 3 ditunjukkan perbedaan visual antara hasil *orthophoto* (kiri) dan kondisi kerusakan di lapangan (kanan) pada titik sampel 10. Bentuk kerusakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 hasil interpretasi dinyatakan tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini dikarenakan visualisasi yang ditunjukkan oleh hasil tangkapan citra UAV dengan ketinggian 50 meter masih menunjukkan kesamaran walaupun telah memiliki resolusi yang tinggi.



Gambar 4. Perbedaan hasil orthophoto dengan kondisi lapangan (titik 1)

Begitu juga dengan beberapa jenis kerusakan yang terjadi pada titik sampel yang lain, dimana hasil *orthophoto* juga masih tampak buram namun masih dapat digunakan untuk identifikasi terhadap klasifikasi kerusakan jalan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, dimana bentuk klasifikasi kerusakan dapat dengan benar diinterpretasikan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan proses penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini dapat membuktikan hipotesa yang diutarakan di awal artikel ini, dimana pada ketinggian terbang lebih rendah akan menghasilkan *orthophoto* yang jauh lebih baik dengan resolusi yang jelas, sehingga proses interpretasi kerusakan jalan lebih mudah dilakukan. Tingkat akurasi pada ketinggian terbang terendah (50 meter) mampu memberikan akurasi 90% pada identifikasi kerusakan jalan yang terjadi di lokasi penelitian. Oleh sebab itu dalam penelitian ini membuktikan bahwa proses identifikasi dan klasifikasi kerusakan jalan dapat dilakukan dengan teknologi UAV dengan tipe *quadcopter*. Hal ini dibuktikan dari kemampuan UAV untuk memberikan hasil jenis klasifikasi kerusakan sampai dengan kemampuan dalam perhitungan luas indikatif pada kerusakan jalan yang teridentifikasi, yang mana pada objek penelitian terhitung luas indikatif kerusakan jalan adalah sebesar 79,09 m² atau dapat dinyatakan bahwa 1,67% permukaan jalan pada objek penelitian telah mengalami kerusakan.

Daftar Pustaka

Andaru, R., & Rokhmana, C. A. (2012). Pemodelan kondisi bangunan candi Borobudur pasca erupsi merapi dengan UAV-Based Fotogrametri. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 3(2), 105–112.

- Asosiasi Pilot Drone Indonesia. (2022). *Indonesia Remote Pilot Learning Handbook 12 Aeronautical Knowledge & Flight Review Process: Vol. 1.0* (hlm. 154–177). Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Bakri, M. D., & Prihartanto, E. (2020). Analysis of the influence of ring road infrastructure development on economic growth in the coastal area of Tarakan City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 599(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012089>
- Bakri, M. D., Utomo, E., & Nawir, D. (2023). Linear Regression Analysis on predicting the level of damage and changes in Amal Baru Beach Tarakan City Indonesia. *SINERGI*, 27(1), 133. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2023.1.015>
- Bandara, N., & Gunaratne, M. (2001). Current and Future Pavement Maintenance Prioritization Based on Rapid Visual Condition Evaluation. *Journal of Transportation Engineering-asce - J TRANSP ENG-ASCE*, 127. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2001\)127:2\(116\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:2(116))
- BPS Kota Tarakan. (2022). *Kota Tarakan Dalam Angka 2022* (Vol. 1).
- Everaerts, J. (2008). The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *Remote Sensing and Earth Observation Processes Unit, Flemish Institute for Technological Research (VITO)*, 37, 1187–1192.
- Firdaus, Z. M., Handayani, H. H., & Hidayat, H. (2020). Pemanfaatan Data LiDAR dan Foto Udara untuk Pemodelan Kota Tiga Dimensi (Studi Kasus: Wilayah Surabaya Barat) Utilization of LiDAR Data and Aerial Photos for Three-Dimensional City Modeling (Case Study: West Surabaya Region). *Geoid Journal of Geodesy and Geomatics*, 16(1), 80–92.
- Hendarsin, & Shirley, L. (2000). *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Jurusan Teknik Sipil - Politeknik Negeri Bandung.
- Herold, M., & Roberts, D. (2005). Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: Implications for remote-sensing applications. *Applied optics*, 44, 4327–4334. <https://doi.org/10.1364/AO.44.004327>
- Mandaya, I., & Harintaka. (2020). Pemanfaatan teknologi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) untuk identifikasi dan klasifikasi jenis-jenis kerusakan jalan. *Rekayasa Sipil*, 14(3), 162–172.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 37 Tahun, (2020).
- Putra, A. S., Maulana, E., Rahmadana, A. D. W., Wulan, T. R., Mahendra, I. W. W. Y., & Putra, M. D. (2016). Uji akurasi foto udara dengan menggunakan data UAV pada kawasan padat pemukiman penduduk (Studi kasus: Kawasan Padat Sayidan, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 278–286. <http://sinasinderaja.lapan.go.id>
- Rahmadany, V., Tjahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Penggunaan DTM presisi dari Fotogrametri UAV untuk analisa bencana longsor menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 86–101. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.12908>
- Rokhman, A., Putri, D., & Siswoyo, S. D. (2022). Analisis Ruas Jalan Nasional Klari Kabupaten Karawang Menggunakan Metode MKJI 1997. *Jurnal Forum Mekanika*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v11i1.1635>

- Roziqin, A., Gustin, O., Pratama, R. W., Nitisaputra, A. D., Pernadi, R., Juanika, D. T., al Fitrah, M. I., Syahrani, A., Amelia, R., Aritonang, F. L., Zhrani, M., & Ilyasa, N. (2022). Rekonstruksi model 3D menggunakan foto udara untuk visualisasi kawasan pesisir Sembulang Kota Batam. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 889–898.
- Saodang, H. (2005). *Konstruksi Jalan Raya Buku 2 Perancangan Perkerasan Jalan Raya* (1 ed.). Penerbit Nova.
- Selaby, S., Kusratmoko, E., & Rustanto, A. (2021). Landslide Susceptibility in Majalengka Regency, West Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 884(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/884/1/012053>
- Soentoro, E. A., Levina, & Adidarma, W. K. (2015). Kajian koefisien koreksi indeks kekeringan menggunakan basis data satelit TRMM dan hujan lapangan. *Jurnal Teknik Sipil, Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 22(2), 137–146.
- Utomo, E., Ahmad Syarif, I., Henny Barocah, A., Reni, & Saipul Sadam, M. (2023). Studi daerah rawan longsor pada kawasan pemukiman kampung bugis Kota Tarakan dengan penerapan metode fotogrametri. *Civil Engineering Scientific Journal*.
- Utomo, E., Fadila, A. N., & Pratama, M. (2022). Penggambaran Peta wilayah Desa Periuk Kabupaten Tana Tidung dengan Analisis Luas Bangunan Penduduk berdasarkan Teknik Digitasi On-Screen. *Indonesian Journal of Community Empowerment and Service*, 2(2), 83–88. <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/icom/es/index>
- Utomo, E., Hidayat, W., & Chandra, Y. (2022). Analisis Kombinasi Metode Pengukuran Terrestrial Dan Fotogramteri Pada Penyusunan Master Plan Sekolah NU Kota Tarakan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 6(3), 215–228. <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.2996>
- Wahyono, E. B., & Suyudi, B. (2017). *Modul Fotogrametri Terapan*. Kementerian Agraria dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional.
- Wulan, T. R., Ambarwulan, W., Putra, A. S., Maulana, E., Maulia, N., Putra, M. D., Wahyuningsih, D. S., Ibrahim, F., & Raharjo, T. (2016). Uji akurasi data UAV (Unmanned Aerial Vehicle) di kawasan Pantai Pelangi, Parangtritis, Kretek, Kabupaten Bantul. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan*, 27, 232–240. <http://www.dji.com/product/phantom-3-pro/info>
- Wulansari, H. (2017). Uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan dengan menggunakan metode defuzzifikasi maximum likelihood berbasis Citra ALOS AVNIR-2. *Bhumi*, 3(1), 98–110.
- Yunardhi, H., Alkasi, M. J., & Sutanto, H. (2018). Analisa Kerusakan Jalan dengan Metode PCI dan Alternatif Penyelesaiannya (Studi Kasus: Ruas Jalan D.I. Panjaitan). *Jurnal Teknologi Sipil*, 2(2), 38–47.

