

ANALISIS PENGGUNAAN *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV) UNTUK INSPEKSI DAN PEMODELAN 3D GEDUNG

ANALYSIS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) FOR BUILDING INSPECTION AND 3D MODELING

Martince Novianti Bani¹; Helik Susilo², Anisah Nur Fajarwati³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru,
Kota Malang, Jawa Timur,
65141, Indonesia

E-mail: novianti_mb@polinema.ac.id

ABSTRAK

Implementasi UAV untuk mendapatkan data citra bagi keperluan pemantauan dan inspeksi gedung telah mengalami perkembangan dalam beberapa tahun terakhir ini. Penggunaan UAV dalam penilaian dan pemodelan terutama kerusakan menjadi bagian yang terus dikembangkan dalam berbagai penelitian. Fleksibilitas operasional, efektif biaya dan efisiensi waktu menjadi faktor pendukung dalam penggunaan UAV. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan ulasan secara komprehensif terkait pemanfaatan UAV untuk inspeksi gedung serta pemodelan 3D gedung. Lebih dari itu, penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan informasi kerusakan bangunan untuk keperluan pemantauan lebih lanjut. Penelitian ini diusung berdasarkan pada teknik fotogrametri menggunakan sudut oblique. Analisis kerusakan didasarkan pada deteksi retakan pada dinding luar gedung sehingga dapat dikategorikan pada kerusakan rendah dan sedang. Hasil identifikasi menunjukkan terdapat 262 retakan dengan estimasi retakan terpanjang yaitu 1694,20 mm. Pada data foto UAV juga dilakukan pemodelan 3D sehingga dapat dideteksi bagian atap gedung dengan prinsip dasar RANSAC. Model atap juga diidentifikasi dengan titik-titik sampel, sehingga pada iterasi ke 100 dengan threshold 0,1 maka diperoleh hasil terbaik 1,0000 dan 0,0557. Model atap yang dihasilkan ini juga dapat menjadi bagian yang dapat diaplikasikan untuk pemantauan dan perawatan gedung. Kedepannya metode ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam proses inspeksi gedung.

Kata kunci: 3D, Deteksi Retakan, Inspeksi Gedung, Ransac, UAV

ABSTRACT

The implementation of UAV to obtain image data for building monitoring and inspection has experienced developments in recent years. The use of UAVs for damage assessment and modeling, is an area actively explore in ongoing research. Operational flexibility, cost-effectiveness, and time efficiency are key factors supporting UAV use. Therefore, this research provides a comprehensive review regarding to the use of UAVs for building inspections and 3D modeling. Moreover, this research is intended to provide information of building damage and furthermore for monitoring purposes. This research was establish based on photogrammetry with oblique angle. Damage analysis, based on crack detection on the building surface, is categorized as low to medium. The identification results show that there are 262 cracks, with the longest crack estimated to extend up to 1694.20 mm. From the UAV data, 3D modeling is also carried so the roof could be detected using RANSAC method. The roof model was identified using sample points, so at the 100th iteration with a threshold of 0.1, the results were 1,0000 and 0,0557. The roof model can be applied for building monitoring and maintenance. In the future, this method can be contribute for to the building inspection.

Keywords: 3D, Building Inspection, Crack Detection, Ransac, UAV

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah bangunan sebagai bagian dari upaya pemenuhan kebutuhan seperti perumahan, fasilitas publik dan infrastruktur di suatu wilayah telah menjadi suatu isu penting yang berhubungan dengan penuaannya. Penuaan bangunan ini bisa diakibatkan oleh proses alami seiring dengan bertambahnya umur bangunan maupun manajemen siklus hidup yang kurang efektif. Penurunan kinerja struktur pun dapat mengakibatkan kerusakan struktural bangunan serta dapat meningkatkan biaya pemeliharaan akibat dari manajemen pemeliharaan yang tidak efektif. Kegagalan struktural ini tidak hanya terjadi pasca konstruksi tapi juga dapat terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi berlangsung. Selain itu, kawasan pemukiman yang padat serta yang berada di daerah rawan bencana juga dapat menjadi suatu faktor meningkatnya kerusakan struktural bangunan (Kartika dkk., 2023).

Cara-cara konvensional untuk memantau kondisi bangunan dilaksanakan dengan inspeksi visual oleh manusia. Cara pemantauan ini dapat memberikan informasi integral terkait dengan kondisi retak, dan kemungkinan pelepasan konsentrat beton atau batu. Pendekatan pemantauan kondisi struktur bangunan gedung dengan mengaplikasikan dan menggabungkan metode geodetik klasik dan non geodetik telah diterapkan (Sztubecki dkk., 2022). Namun upaya dalam memberikan informasi ini menjadi melelahkan jika memperhatikan struktur bangunan terutama bangunan bertingkat yang membutuhkan peralatan yang signifikan untuk keperluan pemeriksaan. Dengan demikian maka upaya untuk meminimalisir inspeksi bangunan secara konvensional yaitu dengan ditawarkannya observasi yang dilakukan menggunakan pesawat nirawak (*Unmanned Aerial Vehicle* – UAV) atau yang dikenal sebagai *drone*.

Pesawat nirawak (UAV) yang mengaplikasikan prinsip fotogrametri telah banyak digunakan dalam penelitian untuk memperoleh data citra. Berbagai keperluan untuk penyelidikan dilakukan terutama untuk pemantauan dan inspeksi gedung pun menjadi bagian yang mulai dikembangkan dewasa ini. Perkembangan pesat penerapan teknik UAV fotogrametri dalam bidang pemantauan dan inspeksi gedung ini memberikan solusi baru untuk memperoleh data yang efektif dan efisien dalam mendeteksi kerusakan infrastruktur bangunan (Liu dkk., 2021; Munawar dkk., 2022; Pan dkk., 2020; Tan dkk., 2022; Woo dkk., 2023). Dengan pengkombinasian antara UAV dengan algoritma *Structure From Motion* (SFM) maka dapat dihasilkan Model Permukaan Digital (DSM) dan orthofoto akurasi tinggi (Cirillo dkk., 2022; Bani, 2022).

Regulasi terkait bangunan gedung di Indonesia sendiri diatur menurut Peraturan Menteri PUPR No. 20 Tahun 2021 (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021) maupun dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.16 Tahun 2021 Tentang Bangunan Gedung (Peraturan Pemerintah, 2021). Dalam hal ini kedua regulasi tersebut memberikan perhatian khusus terhadap kerusakan bangunan gedung dan pekerjaan perawatan bangunan gedung baik itu rehabilitasi, renovasi maupun restorasi. Di sisi lain, informasi mengenai tingkat kerusakan bangunan gedung masih dilakukan dengan cara-cara konvensional yang dapat meningkatkan resiko kecelakaan dalam proses pemantauan serta membutuhkan waktu dan biaya yang lebih banyak. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi komprehensif terkait kerusakan gedung yang difokuskan pada dinding luar gedung dengan memanfaatkan UAV dan dapat digunakan untuk keperluan pemantauan lebih lanjut. Selain itu, data dari UAV juga digunakan untuk pemodelan 3D gedung.

Lebih dari itu, penelitian ini diusung berdasarkan pada prinsip dasar fotogrametri dengan sudut pengambilan gambar secara *oblique*. Foto *oblique* merupakan foto yang diperoleh dengan sudut kamera 45° . Kelebihan utama foto *oblique* ini yaitu adanya fasad atau tampak samping dari sebuah objek tinggi seperti bangunan, vegetasi, lembah, dan perbukitan dan sebagainya (Wolf dkk., 2014). Setelah itu dilakukan analisis kerusakan pada bagian dinding luar gedung. Sehingga berdasarkan hasil identifikasi kerusakan gedung maka dapat diusulkan lebih lanjut untuk perawatan gedung terutama bagian dinding gedung secara berkala maupun pemeliharaan jangka panjang. Citra dari UAV dimanfaatkan untuk pemodelan 3D gedung sehingga dapat dideteksi bagian atap gedung dengan metode *Random Sampling Consensus* (RANSAC). Paradigma RANSAC yaitu mengekstraksi bentuk secara acak dari sekumpulan data titik dan membentuk model primitif yang sesuai (Fischler dan Bolles, 1981). Kemudian algoritma RANSAC ini diterapkan untuk mendeteksi lebih akurat lagi letak atap gedung (Wu dkk., 2022).

Studi tentang pengaplikasian *Unmanned Aerial Vehicle* atau yang lebih dikenal dengan drone telah banyak dilakukan untuk pemantauan dan inspeksi gedung. Penelitian-penelitian tersebut dilaksanakan dengan kondisi objek bangunan gedung yang diambil dengan prinsip terbang UAV secara vertikal dan dengan kamera diarahkan ke dinding bangunan. Hal tersebut di antaranya dikaji oleh Woo dkk. (2023), yang mengaplikasikan penggunaan UAV untuk mendeteksi retakan melalui *deep learning*. Dimana metode pendeteksian retakan baik struktural maupun non-struktural diterapkan pada gambar desain bangunan gedung dan *orthoimage* dari UAV. Hasilnya yaitu terdapat retakan struktural sebanyak 116 buah dan retakan nonstruktural sebanyak 149 buah dari total retakan yang ada sebanyak 265 buah. Kajian lain dilakukan

oleh Tan dkk. (2022), yang mengintegrasikan data inspeksi dari UAV dengan model BIM untuk menemukan dan mengelola kerusakan bagian luar bangunan. Hasilnya yaitu diperoleh model untuk mendeteksi kerusakan dinding luar gedung dengan mengkombinasikan UAV dan BIM yang dapat diterapkan pada model struktur lainnya, metode transformasi koordinat untuk memetakan kondisi real ke dalam model BIM dengan akurasi tinggi, dan kerusakan pada permukaan dinding dimodelkan sebagai objek BIM yang memungkinkan untuk mengelola BIM berorientasi objek.

METODE

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kampus Politeknik Negeri Malang lebih tepatnya objek yang digunakan yaitu Gedung Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang pada Gambar 1. Waktu pengambilan gambarnya (pemotretan dengan UAV) diatur mulai dari tahap persiapan sampai akuisisi foto menggunakan UAV mengikuti skenario pada diagram alir penelitian pada Gambar 2. Selain itu, gambaran terkait lokasi pengambilan gambar ini dapat dilihat bahwa objek penelitian dikelilingi oleh tutupan lahan berupa vegetasi, pemukiman dan sungai.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2. Akuisisi Data

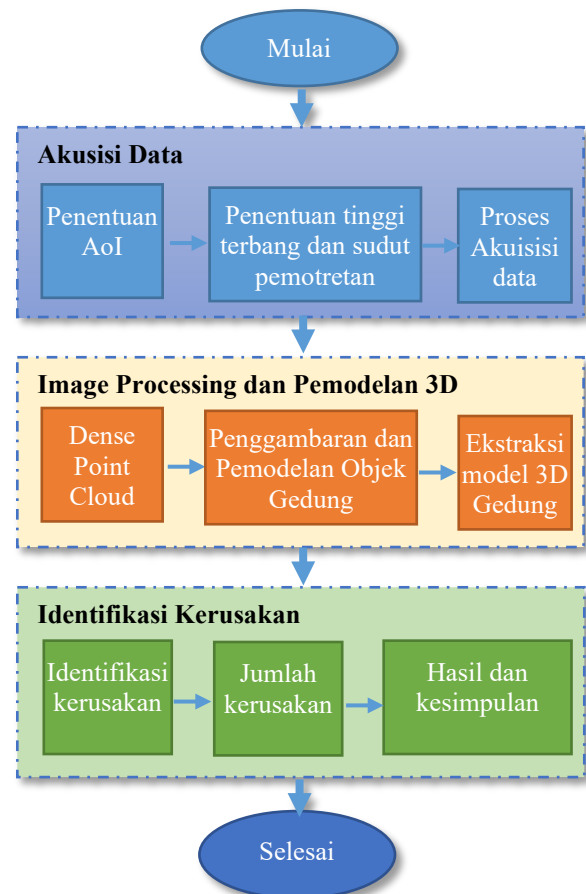
Pada penelitian ini, DJI Phantom 4 Pro dipilih sebagai wahana untuk akuisisi data, yang termasuk dalam kategori *rotary-wing* dan sensor kamera yang mampu menghasilkan resolusi spasial 4.2 cm/pix. Pada proses akuisisi data, ketinggian terbang drone diatur pada 40 meter di atas permukaan tanah. Selain itu, pengambilan gambar dilakukan dengan sudut kamera sebesar 45° terhadap bidang horizontal sehingga memungkinkan perekaman citra dari perspektif miring untuk mendapatkan informasi visual yang lebih banyak. Lebih dari itu, untuk memastikan liputan wilayah yang optimal maka pengaturan pertampalan antar citra secara berurutan (*overlap*) dibuat sebesar 75% dan sedangkan pertampalan antar baris penerbangannya (*sidelap*) sebesar 70%.

3. Pengolahan Data

Tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu (1) akuisisi data, (2) pengolahan data foto, dan (3) identifikasi kerusakan. Tujuan dari alur penelitian ini yaitu untuk mengolah secara terpisah melalui proses *Structure from Motion* (SfM) ke dalam skenario yang telah dirancang, sehingga sasaran utamanya yaitu memperoleh lokasi kerusakan serta jumlah kerusakan berdasarkan retakan dapat terealisasi. Alur penelitian ini direpresentasikan oleh diagram alir pada Gambar 2.

Proses akuisisi data diawali dengan penentuan *Area of Interest* (AoI) terlebih dahulu di sekitar gedung yang menjadi objek utama kajian. Setelah penentuan AoI, kemudian dilanjutkan dengan penentuan tinggi terbang serta mengatur sudut pengambilan gambar. Teknik yang digunakan dalam pengambilan gambar berdasarkan pada teknik foto *oblique*. Teknik ini dipilih karena kondisi sekitar objek kajian yang cukup kompleks, seperti vegetasi dan bangunan lain yang cukup rapat

sehingga untuk melakukan penerbangan secara *cicrle* disekitar objek bangunan gedung atau penerbangan secara vertikal menjadi kurang efektif. Dengan berpedoman pada teknik foto *oblique* ini maka drone dapat menghindari hambatan (*obstacle*) lainnya dan tetap menghasilkan citra secara optimal yang dapat menunjang detail dan



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

cakupan objek yang lebih baik.

Setelah proses akuisisi data dilakukan, maka dilakukan pengolahan data foto dan di dalamnya melibatkan analisis *Structure from Motion* (SfM). Pada tahap ini, terdapat beberapa langkah penting, termasuk di dalamnya penentuan parameter pencocokan citra (*image matching*), yang bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik yang sama di area pertampalan. Peningkatan kualitas citra dan pembentukan serta pemodelan objek 3D berdasarkan pada *Digital*

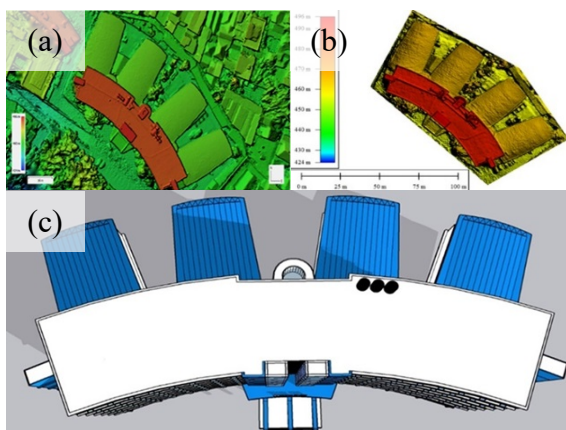
Elevation Model dan *Digital Surface Model* juga dilakukan untuk memastikan hasil analisis yang lebih akurat. Dari kedua model permukaan tersebut kemudian proses penyajian data dilanjutkan pada penggambaran dan pemodelan objek bangunan gedung berdasarkan data citra yang dihasilkan oleh UAV dan gambar desain bangunan gedung (*as built drawing*).

Identifikasi kerusakan pada dinding gedung merupakan bagian penting pada penelitian ini. Hasilnya disajikan berdasarkan identifikasi yang dilakukan pada bangunan gedung. Kesimpulan merupakan bagian penutup dari penelitian ini yang akan merangkum semua proses dan hasil secara lebih singkat mengenai hasil yang dicapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemodelan 3D dan Diteksi Atap (*Plane Detection*)

Pengolahan data foto dilakukan untuk mendapat model permukaan digital dari objek bangunan yang kemudian dimodelkan dalam bentuk 3D. *Point cloud* diperoleh dengan mengaplikasikan metode *Structure from Motion (SfM)*. Pemodelan bangunan ini dilakukan dengan mengikuti *as built drawing* bangunan, serta penerapan Ransac



Gambar 4. Representasi Atap Gedung (a) *Digital Surface Model*; (b) *Digital Elevation Model*; (c) Pemodelan Gedung berdasarkan pada *as built drawing*

dilakukan pada atap gedung juga dilakukan berbasis pada data foto yang telah diproses menjadi *point cloud*.

Berdasarkan hasil pemrosesan data foto UAV maka dilakukan pengukuran berdasarkan data DEM dan DSM dengan *as built* gedung. Dapat dilihat juga bahwa perbedaan ukuran mengindikasikan bahwa orientasi sudut pandang foto yang diambil secara *oblique* mempengaruhi hasil identifikasi. Sehingga setelah pengukuran dilakukan, diperoleh data ukuran dengan selisih yang tidak terlalu besar pada Tabel 1.

Dari Hasil DEM dan DSM maka dilakukan identifikasi atap dengan koordinat sampel yang ditentukan secara acak dapat dilihat pada Tabel 1 dan jika dibandingkan dengan *as built drawing* maka terdapat selisih ukuran tertinggi pada sampel no.3 0,360 m dan 0,692 meter. Hal ini merupakan pengaruh dari sudut pengambilan foto secara *oblique*, sehingga pada sampel no.3 tersebut

```
Ransac\JTS.m  CrackClassify.m  Crack_All_Bloob.m  Crack_All.m  Image
clear;clc;close all;
%Martince Novianti Bani
%Plott 3D Point Cloud Bangunan Gedung
%Test Algoritma Ransac Part I

data1 = load ('Gedung\JTSPOINT(XYZ)_Cloud_RemovePlant2.txt');

figure (1);
pcshow(data1)
xlabel('X(m)')
ylabel('Y(m)')
zlabel('Z(m)')
title('Original Point Cloud')

% Jumlah iterasi maksimum dengan metode RANSAC
maxIterations = 100;

% Jumlah titik minimum untuk mendefinisikan model gedung
numSamples = 2;
```

Gambar 3. Generate Nilai *Threshold* Berdasarkan pada Algoritma Ransac

berada pada bagian yang cenderung lebih kecil yang menunjukkan orientasi sudut pengambilan foto pada Gambar 3.

Untuk mendeteksi atap bangunan juga diterapkan metode analisis berdasarkan pada *Ransac fit plane*, dimana metode ini bertujuan untuk mengestimasi nilai parameter pada data yang digunakan yang terindikasi banyaknya outlier. Pada iterasi ke

100 dengan threshold 0,1 maka diperoleh hasil 1,0000 dan 0,0557. Jumlah titik minimum yang ada dibatasi pada angka terendah yaitu sebanyak 2 titik, dan maksimumnya tak terhingga di mana titik maksimumnya berdasarkan pada jumlah *point cloud* yang mampu digenerate pada saat proses data foto dari UAV. Representasi

proses generate berdasarkan pada algoritma *ransac fit plane* menggunakan data *point cloud* yang bermuatan nilai x, y dan z ditunjukkan oleh Gambar 4. Tabel 1 menunjukkan penjelasan terkait pengukuran atap gedung berdasarkan *as built drawing* dan data UAV.

Tabel 1. Pengukuran Atap Gedung Berdasarkan *as Built Drawing* dan Data UAV

No	<i>As Built Drawing</i>		Citra UAV		Selisih Ukuran Kedua Sisi Atap	
	Sisi Kiri (m)	Sisi kanan (m)	Sisi Kiri (m)	Sisi Kanan (m)	Sisi Kiri (m)	Sisi Kanan (m)
1	8,050	8,050	8,022	8,007	0,028	0,043
2	8,050	8,050	8,003	8,147	0,047	-0,097
3	4,031	4,031	3,671	3,339	0,360	0,692
4	20,191	20,17	20,013	19,96	0,178	0,211
5	8,886	8,845	7,863	7,836	1,023	1,009

2. Deteksi Kerusakan

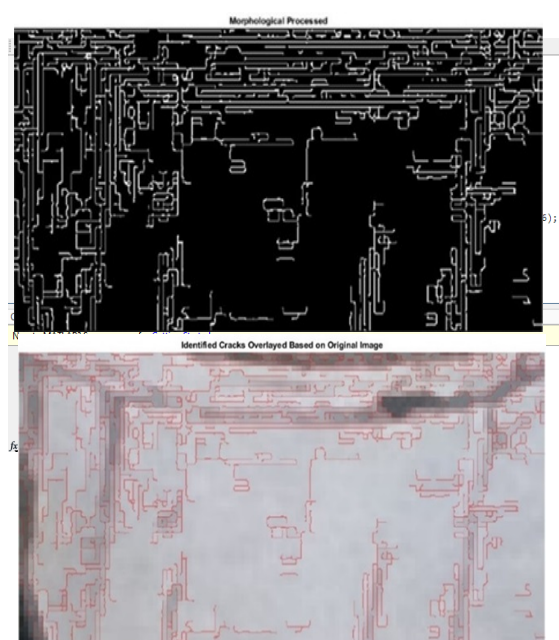
Deteksi kerusakan diterapkan pada gedung berdasarkan pada sampel foto gedung yang telah melewati proses morfologi. Gambar 5 merupakan hasil identifikasi retakan pada dinding luar gedung.

Dari Gambar 5 dapat lihat bahwa untuk mengidentifikasi retakan pada dinding gedung maka diterapkan proses deteksi retakan (*crack detection*) dan yang sebelumnya melalui proses morfologi. Sedangkan Gambar 6 merupakan tampilan proses generate retakan pada dinding gedung. Dari Hasil indentifikasi retakan, maka diperoleh sebanyak 262 retakan dengan estimasi panjang retakan terpanjangnya yaitu 1694,20 mm.

Uji-T juga diterapkan untuk memberikan hasil ketelitian pada proses identifikasi retakan. Hasil uji T didasarkan pada hipotesis H_0 dan H_1 , dimana H_0 = Variabel yang diuji tidak memiliki pengaruh signifikan. Sedangkan H_1 = Variabel yang diuji memiliki pengaruh

yang signifikan antar kelompok yang diuji. Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan Uji T yang diterapkan pada sampel Tabel 1.

Tabel 2 menunjukan bahwa P-Value baik pada uji satu arah (*One-Tail*) maupun



Gambar 6. Hasil Morfologi dan Identifikasi Retakan

uji dua arah (*Two-Tail*), gagal menolak hipotesis nol (H_0). Selain itu, nilai T hitung < T Tabel dan P Value > dari 5%. Sehingga

tidak ada perbedaan yang signifikan antara dua kelompok data yang diuji.

Tabel 2. Uji T dilakukan pada *As Built Drawing* dan Data Foto UAV untuk Sampel Sisi Kanan Gedung

<i>T-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances</i>		
Item	Sisi Kanan (m)	Sisi Kanan (m)
<i>Mean</i>	9,8288	9,4572
<i>Variance</i>	36,9524157	38,5315412
<i>Observations</i>	5	5
<i>Pooled Variance</i>	37,7419785	-
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	-
<i>Df</i>	8	<i>Degree of Freedom</i>
<i>T Stat</i>	0,09563864	
<i>P(T<=T) One-Tail</i>	0,46307994	P-Value
<i>T Critical One-Tail</i>	1,85954804	T Tabel
<i>P(T<=T) Two-Tail</i>	0,92615988	P-Value
<i>T Critical Two-Tail</i>	2,30600414	T Tabel

Pada sampel uji T ke-2 pun dapat dilihat bahwa nilai T hitung < dari T Tabel dan P-Value > dari 5% sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan antara dua kelompok data yang diuji. Sehingga dari kedua kelompok data yang ada dapat diasumsikan bahwa hasil ukuran pada *as*

built drawing dan data foto UAV sama dan panjang retakan dapat diidentifikasi sama pada foto UAV. Tabel 3 merupakan penjelasan terkait Uji T dilakukan pada *as built drawing* dan data foto UAV untuk sampel sisi kiri gedung.

Tabel 3. Uji T dilakukan pada *As Built Drawing* dan Data Foto UAV untuk Sampel Sisi Kiri Gedung

<i>T-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances</i>		
Item	Sisi Kiri (m)	Sisi Kiri (m)
<i>Mean</i>	9,8416	9,5144
<i>Variance</i>	37,0514963	37,9011588
<i>Observations</i>	5	5
<i>Pooled Variance</i>	37,47632755	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	8	<i>Degree of Freedom</i>
<i>T Stat</i>	0,084509355	Nilai T Hitung
<i>P(T<=T) One-Tail</i>	0,467364012	P-Value
<i>T Critical One-Tail</i>	1,859548038	T Tabel
<i>P(T<=T) Two-Tail</i>	0,934728024	P-Value
<i>T Critical Two-Tail</i>	2,306004135	T Tabel

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis maka dapat disimpulkan bahwa kerusakan pada dinding luar gedung dapat dikategorikan sebagai kerusakan rendah dan sedang. Dari identifikasi kerusakan gedung ini juga dapat diusulkan lebih lanjut untuk perawatan gedung terutama bagian dinding gedung secara berkala maupun pemeliharaan jangka panjang. Dari hasil foto dari UAV juga dilakukan pemodelan 3D bangunan gedung sehingga dapat dideteksi bagian atap gedung dengan prinsip dasar RANSAC dengan berbasis pada metode *Structure from Motion* (SfM) yang telah diterapkan terlebih dahulu. Model atap juga diidentifikasi dengan titik-titik sampel, sehingga pada iterasi ke 100 dengan threshold 0,1 maka diperoleh hasil 1,0000 dan 0,0557. Dari Hasil indentifikasi retakan juga dapat diidentifikasi adanya retakan sebanyak 262 buah dengan estimasi panjang retakan yaitu sepanjang 1694,20 mm. Dengan demikian maka kedepannya metode ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam proses inspeksi gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- Bani, M. N. (2022). Analisis Kerapatan 3D Point Clouds pada UAV Fotogrametri. *Qua Teknika*, 12, 45–57.
- Cirillo, D., Cerritelli, F., Agostini, S., Bello, S., Lavecchia, G., dan Brozzetti, F. (2022). Integrating Post-Processing Kinematic (PPK) – Structure from Motion (SfM) with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry and Digital Field Mapping for Structural Geological Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11, 437.
- Fischler, M. A. dan Bolles, R. C. (1981). Random Sample Consensus. *Communications of the ACM*, 24, 381–395.
- Kartika, W., Sukindrawati, B., dan Sarju, S. (2023). Identifikasi Lahan Potensial

Sebagai Lokasi Relokasi Perumahan Berbasis Kebencanaan. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 18, 146–151.

- Liu, D., Xia, X., Chen, J., dan Li, S. (2021). Integrating Building Information Model and Augmented Reality for Drone-Based Building Inspection. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 35.
- Munawar, H., Ullah, F., Shahzad, D., Heravi, A., Qayyum, S., dan Akram, J. (2022). Civil Infrastructure Damage and Corrosion Detection: An Application of Machine Learning. *Buildings*, 12, 156.
- Pan, N.-H., Tsai, C.-H., Chen, K.-Y., dan Sung, J. (2020). Enhancement Of External Wall Decoration Material for the Building in Safety Inspection Method. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26, 216–226.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2021 Tentang Bangunan Gedung Fungsi Khusus.
- Peraturan Pemerintah. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.16 Tahun 2021 Tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung.
- Sztubecki, J., Topoliński, S., Mrówczyńska, M., Bağrıaçık, B., dan Beycioğlu, A. (2022). Experimental Research of the Structure Condition Using Geodetic Methods and Crackmeter. *Applied Sciences*, 12, 6754.
- Tan, Y., Li, G., Cai, R., Ma, J., dan Wang, M. (2022). Mapping and Modelling Defect Data from UAV Captured Images to BIM for Building External Wall Inspection. *Automation in Construction*, 139, 104284.

Analisis Penggunaan *Unmanned* (Bani/hal. 40-48)

- Wolf, P. R., Dewitt, B. A., dan Wilkinson, B. E. (2014). *Elements of Photogrammetry with Application in GIS 4th Edition*. McGraw-Hill Education.
- Woo, H., Hong, W., Oh, J., dan Baek, S. (2023). Defining Structural Cracks in Exterior Walls of Concrete Buildings Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Drones*, 7, 149.
- Wu, Q., Liu, J., Gao, C., Wang, B., Shen, G., dan Li, Z. (2022). Improved RANSAC Point Cloud Spherical Target Detection and Parameter Estimation Method Based on Principal Curvature Constraint. *Sensors*, 22, 5850.