

Pemanfaatan Fotogrametri Udara Untuk Pembuatan Model 3D Kawasan Permukiman (Studi Kasus: Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya)

Utilization of Aerial Photogrammetry for Creating 3D Models of Residential Areas (Case Study: Belakang Padang, Sekanak Raya Subdistrict)

Sudiro Permadi Aritonang¹, dan Oktavianto Gustin.²

¹²Program Studi Teknologi Geomatika, Jurusan Teknik Informatika, Jl. Ahmad, Kota Batam, Kepulauan Riau 29461.

*Corresponding Author: oktavianto@polibatam.ac.id

Article Info:

Received: D – M - YYYY

Accepted: D – M - YYYY

Published: D – M - YYYY

Kata kunci: fotogrametri udara, UAV, model 3D, orthofoto, DEM.

Keywords: aerial photogrammetry, UAV, 3D model, orthophoto, DEM.

Abstrak: Perkembangan teknologi fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) memberikan alternatif yang efisien dalam penyediaan data geospasial berketelitian tinggi. Penelitian ini bertujuan menghasilkan orthofoto, *Digital Elevation Model* (DEM), dan model tiga dimensi (3D) kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kota Batam, serta mengevaluasi kualitas geometriknya berdasarkan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018. Metode penelitian meliputi akuisisi citra udara menggunakan UAV, pengukuran *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP), pengolahan data fotogrametri, pembentukan orthofoto, DEM, dan model 3D, serta pengujian akurasi horizontal dan vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model tiga dimensi mampu merepresentasikan bangunan, vegetasi, jaringan jalan, dan bentuk permukaan tanah secara rinci. Pengujian ketelitian menghasilkan nilai CE90 orthofoto sebesar 1,094 m dan LE90 DEM sebesar 0,208 m yang memenuhi standar ketelitian Kelas 1 pada skala peta yang digunakan. Dengan demikian, metode fotogrametri udara berbasis UAV terbukti mampu menghasilkan produk geospasial yang akurat dan andal sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai data pendukung pemetaan, analisis spasial, perencanaan wilayah, penataan permukiman, inventarisasi aset, dan pengelolaan kawasan pesisir.

Abstract: The development of *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)-based aerial photogrammetry technology offers an efficient alternative for acquiring high-precision geospatial data. This study aims to generate an orthophoto, a *Digital Elevation Model* (DEM), and a three-dimensional (3D) model of the Belakang Padang settlement area in Sekanak Raya Urban Village, Batam City, and to evaluate their geometric quality in accordance with Geospatial Information Agency Regulation Number 6 of 2018. The research methodology encompasses aerial image acquisition using a UAV, measurement of *Ground Control Points* (GCPs) and *Independent Check Points* (ICPs), photogrammetric data processing, generation of the orthophoto, DEM, and 3D model, as well as horizontal and vertical accuracy testing. The results demonstrate that the 3D model effectively represents buildings, vegetation, road networks, and terrain morphology in detail. Accuracy testing yielded a CE90 value of 1.094 m for the orthophoto and an LE90 value of 0.208 m for the DEM, both meeting the Class 1 accuracy standards for the applied map scale. Thus, the UAV-based aerial photogrammetry method is proven capable of producing accurate and reliable geospatial products, offering potential utility for mapping support, spatial analysis, regional planning, settlement layout, asset inventory, and coastal area management.

How to Cite:

Sudiro Permadi Aritonang. DKK., Pemanfaatan Fotogrametri Udara Untuk Pembuatan Model 3D Kawasan Permukiman (Studi Kasus: Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya). <https://doi.org/10.31315/imagi.v5i2.15604>.

1. PENDAHULUAN

Teknologi fotogrametri udara yang memanfaatkan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mengalami perkembangan yang sangat pesat dan menjadi salah satu metode akuisisi data geospasial yang banyak digunakan karena mampu menghasilkan informasi secara cepat, akurat, dan efisien. Melalui citra udara beresolusi tinggi yang dihasilkan UAV, berbagai produk geospasial dapat dibuat, seperti *point cloud*, *Digital Elevation Model* (DEM), orthofoto, serta model tiga dimensi (3D) yang mampu menggambarkan kondisi permukaan bumi, bentuk bangunan, dan karakteristik topografi secara detail. Dibandingkan dengan metode survei konvensional, fotogrametri berbasis UAV menawarkan sejumlah keunggulan, di antaranya mempercepat proses pengumpulan data, mengurangi biaya operasional, menjangkau area yang sulit diakses, serta menghasilkan data dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Hasil penelitian Priambodo et al. (2022) menunjukkan bahwa model tiga dimensi yang dihasilkan melalui fotogrametri berbasis UAV memiliki kualitas geometrik yang telah memenuhi standar ketelitian Badan Informasi Geospasial (BIG), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber data yang andal untuk berbagai kebutuhan pemetaan.

Fotogrametri adalah metode yang digunakan untuk memperoleh informasi spasial dari citra melalui pendekatan *Structure from Motion* (SfM), sehingga memungkinkan rekonstruksi objek atau permukaan bumi secara tiga dimensi. Dalam proses pengolahannya, *Ground Control Point* (GCP) dimanfaatkan sebagai titik kontrol untuk meningkatkan ketelitian geometrik hasil pemetaan, sedangkan *Independent Check Point* (ICP) digunakan sebagai titik uji guna mengevaluasi tingkat akurasi produk yang dihasilkan. Penerapan GCP dan ICP merupakan tahapan yang sangat penting dalam proses fotogrametri karena berperan dalam memastikan bahwa produk geospasial yang dihasilkan memenuhi standar ketelitian yang ditetapkan serta memiliki kualitas yang dipertanggungjawabkan.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) telah berhasil dimanfaatkan untuk menghasilkan model tiga dimensi pada berbagai objek, seperti jalan, kawasan pesisir, lingkungan kampus, dan bangunan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih lebih menitikberatkan pada proses pembentukan model tiga dimensi, sementara evaluasi terhadap kualitas geometrik hasil pemetaan belum dilakukan secara komprehensif. Pengujian akurasi horizontal pada orthofoto dan akurasi vertikal pada *Digital Elevation Model* (DEM) menggunakan *Independent Check Point* (ICP) yang mengacu pada Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 juga masih jarang dilakukan. Di samping itu, penerapan metode tersebut pada kawasan permukiman pesisir di Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kota Batam, masih relatif terbatas. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian yang tidak hanya berfokus pada pembuatan model tiga dimensi, tetapi juga mengevaluasi kualitas geometriknya melalui pengujian akurasi sesuai dengan standar nasional yang berlaku.

Belakang Padang, khususnya Kelurahan Sekanak Raya, dipilih sebagai lokasi penelitian karena merupakan kawasan permukiman pesisir yang mengalami perkembangan secara berkelanjutan. Wilayah ini memiliki karakteristik berupa kepadatan bangunan yang tinggi, pola permukiman yang beragam, serta berada di kawasan pesisir dengan dinamika pemanfaatan ruang yang terus berubah. Kondisi tersebut meningkatkan kebutuhan akan informasi geospasial tiga dimensi yang mampu merepresentasikan kondisi eksisting wilayah secara akurat dan detail. Ketersediaan informasi tersebut sangat penting sebagai dasar dalam mendukung perencanaan pembangunan, penataan ruang, inventarisasi aset, administrasi pertanahan, pengelolaan infrastruktur, serta upaya mitigasi bencana di kawasan pesisir.

Walaupun kebutuhan akan informasi geospasial di kawasan tersebut terus meningkat, ketersediaan produk pemetaan tiga dimensi yang telah memenuhi standar ketelitian geometrik masih tergolong terbatas. Kondisi ini menunjukkan pentingnya penyediaan data spasial yang tidak hanya mampu menyajikan visualisasi wilayah secara detail, tetapi juga memiliki tingkat akurasi yang telah terverifikasi sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal dalam berbagai kegiatan. Penelitian Sandria et al. (2025) membuktikan bahwa produk fotogrametri berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mampu memenuhi persyaratan ketelitian untuk pemetaan skala besar, sehingga layak digunakan sebagai data dasar pada kegiatan pertanahan dan pemetaan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa teknologi UAV tidak hanya menghasilkan model tiga dimensi yang representatif, tetapi juga menyediakan informasi geospasial

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian saya bertujuan mengimplementasikan metode fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk menghasilkan produk geospasial berupa orthofoto, *Digital Elevation Model* (DEM), dan model tiga dimensi kawasan permukiman di Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya. Selain menghasilkan ketiga produk tersebut, penelitian ini juga melakukan evaluasi terhadap kualitas geometriknya melalui pengujian akurasi horizontal orthofoto dan akurasi vertikal DEM menggunakan *Independent Check Point* (ICP) dengan mengacu pada Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara proses pembentukan model tiga dimensi dan pengujian ketelitian geometrik dalam satu rangkaian penelitian yang utuh. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu menyediakan informasi geospasial yang akurat dan dapat diandalkan sebagai pendukung perencanaan pembangunan, penataan kawasan permukiman, administrasi pertanahan, serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian fotogrametri udara di Kota Batam.

PETA LOKASI KERJA PENELITIAN DAN SEBARAN GCP/ICP KELURAHAN SEKANAK RAYA BELAKANG PADANG

Datum Sistem Proyeksi : WGS 1984 UTM 48N
 Dibuat Oleh : Sudiro Permadi Artonang
 Dosen Pembimbing : Ir. Oktavianto Gustin, S.T., M.T., I.PM.

INSERT PETA

1:5,000

Legenda

- Area Penelitian
- ICP
- GCP

Sumber Data : - Foto Udara UAV,
 - GCP & ICP
 Software : - Agisoft Metashape
 - ArcGIS 10.8

**POLITEKNIK NEGERI BATAM
 PRODI TEKNOLOGI GEOMATIKA
 JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
 TAHUN 2026**

polibatam

Source: Esri, DeLorme, GeoEye, @satellite, and the GIS User Community, HERE, @satellite, and the GIS User Community

Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian yang berada di kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kecamatan Belakang Padang, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Wilayah tersebut dipilih karena mencerminkan karakteristik permukiman pesisir yang terus berkembang serta membutuhkan informasi geospasial yang detail dan memiliki tingkat ketelitian tinggi. Dengan kondisi tersebut, lokasi penelitian dinilai tepat sebagai objek untuk menerapkan sekaligus mengevaluasi metode fotogrametri udara dalam menghasilkan produk pemetaan yang memenuhi standar ketelitian geometrik.

2.1 Data dan Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk mendukung proses pengambilan data pada penelitian di kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kecamatan Belakang Padang, Kota Batam adalah sebagai berikut:

No	Nama Peralatan	Data
1	Dji Matrice 4 Enterprise	Data Foto Udara
2	GPS Geodetik	Data <i>Ground Control Point</i> (GCP) dan Data <i>Independent Check Point</i> (ICP)
3	ArcMap	Peta Area Kerja, Peta <i>Digital Elevation Model</i> (DEM) dan Peta Orthofoto
4	Agisoft Metashape	Data <i>Point Cloud</i> , Data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM), Data Orthofoto

Tabel 1. Data dan Peralatan

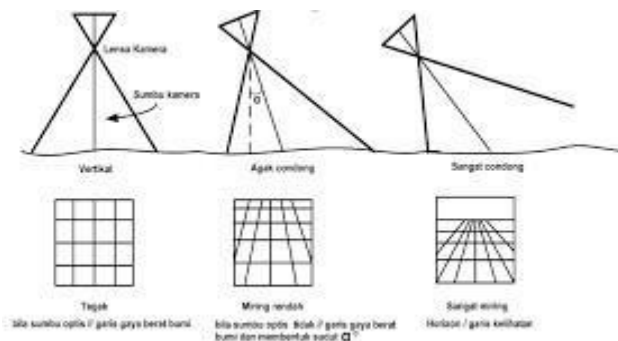
2.2 Metode

2.2.1. Perencanaan Misi Penerbangan

Perencanaan misi penerbangan merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum akuisisi data untuk menjamin seluruh area penelitian dapat terdokumentasi secara menyeluruh. Menurut Trikusuma dkk. (2021), proses pengambilan data dilakukan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) DJI Phantom 4 Pro yang diterbangkan pada siang hari selama tiga hari dengan total tujuh kali penerbangan. Misi tersebut dirancang pada ketinggian relatif 100 meter dengan nilai overlap dan sidelap masing-masing sebesar 75% guna menghasilkan citra yang memiliki tumpang tindih yang cukup sehingga proses pencocokan antar citra (*image matching*) dapat dilakukan secara optimal. Pengaturan parameter penerbangan tersebut mendukung pembentukan model tiga dimensi yang memiliki kualitas dan ketelitian geometrik yang baik. Sebagai acuan pengendalian posisi, penelitian ini juga memanfaatkan *benchmark* (BM) Universitas Diponegoro tanpa pemasangan *premark*, dengan tujuh titik BM yang telah memiliki koordinat pasti dan memenuhi persyaratan sebagai titik kontrol (Trikusuma dkk., 2021).

Tahap selanjutnya dalam perencanaan misi penerbangan adalah menentukan posisi *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) yang ditempatkan pada *Area of Interest* (AOI) sebagai referensi dalam pengukuran lapangan. GCP dimanfaatkan untuk meningkatkan ketelitian geometrik sekaligus menjadi acuan dalam proses georeferensi hasil fotogrametri, sedangkan ICP berfungsi sebagai titik uji untuk menilai tingkat akurasi produk yang dihasilkan. Penyebaran GCP dan ICP yang dirancang secara merata dan sistematis mendukung kelancaran proses akuisisi data, sehingga orthofoto dan produk geospasial yang dihasilkan memiliki kualitas geometrik yang baik serta memenuhi standar ketelitian pemetaan (Haque dkk., 2024).

2.2.2. Foto Udara



Gambar 2. Jenis-jenis Foto Udara
(Sumber: Syauqani, 2017)

Foto udara secara umum dibedakan menjadi dua jenis, yaitu foto udara metrik dan foto udara non-metrik. Foto udara metrik dihasilkan menggunakan kamera udara yang dirancang khusus untuk keperluan pengukuran, dengan panjang fokus (*focal length*) yang bersifat tetap sehingga mampu menghasilkan data geometrik yang akurat. Sementara itu, foto udara non-metrik diperoleh menggunakan kamera konvensional yang memiliki panjang fokus yang dapat diubah sesuai kebutuhan pengguna, sehingga tingkat ketelitian geometriaknya lebih rendah dibandingkan kamera metrik (Syauqani, 2017).

perkembangan teknologi fotogrametri berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) telah meningkatkan pemanfaatan foto udara dalam berbagai kegiatan pemetaan karena mampu menghasilkan ortofoto dengan resolusi spasial dan ketelitian geometrik yang tinggi apabila proses akuisisi data dilakukan sesuai standar teknis. Teknik pemotretan tegak (*vertical photography*) menjadi metode yang paling banyak digunakan karena mampu merepresentasikan kondisi permukaan bumi secara proporsional serta memenuhi persyaratan ketelitian horizontal untuk berbagai kebutuhan pemetaan. Dengan kemampuan tersebut, data hasil pemotretan udara berbasis UAV dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi geospasial yang andal dalam penyusunan peta dasar, inventarisasi objek, analisis wilayah, hingga pembangunan model tiga dimensi (Sandria dkk., 2025)

2.2.3. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)



Gambar 3. DJI Matrice 4 Enterprise
(Sumber: DJI Enterprise, 2024)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau pesawat tanpa awak merupakan wahana udara yang dioperasikan tanpa pilot di dalam pesawat, dengan sistem pengendalian yang dilakukan dari jarak jauh melalui gelombang radio atau secara otomatis berdasarkan program yang telah ditetapkan. UAV termasuk ke dalam kategori *Unmanned System*, yaitu sistem elektromekanik yang dirancang untuk melaksanakan tugas atau misi tertentu secara mandiri maupun dengan kendali operator. Dalam pengoperasiannya, UAV memanfaatkan berbagai sensor sebagai sumber data untuk mendukung proses navigasi dan pelaksanaan misi sesuai dengan kebutuhan (Saroinsong dkk., 2018).

UAV memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan pesawat berawak, di antaranya mampu dioperasikan pada kondisi atau wilayah yang berisiko tinggi tanpa membahayakan keselamatan pilot, menjangkau area yang sulit diakses, serta terbang pada ketinggian rendah di bawah lapisan awan sehingga menghasilkan citra yang lebih jelas dan minim gangguan awan. Selain itu, penggunaan UAV juga lebih efisien dari segi ekonomi karena biaya pengadaan perangkat maupun biaya operasionalnya relatif lebih rendah dibandingkan dengan pesawat berawak (Subakti, 2017).

2.2.4. Point cloud

Point cloud adalah sekumpulan data berupa titik-titik yang memiliki posisi dalam suatu sistem koordinat. Pada koordinat tiga dimensi, setiap titik direpresentasikan oleh nilai X, Y, dan Z yang menggambarkan bentuk atau karakteristik permukaan suatu objek. Data point cloud diperoleh melalui proses pemindaian tiga dimensi (3D scanning), di mana setiap titik merupakan hasil pengukuran spasial yang merepresentasikan geometri objek yang dipindai. Kumpulan titik tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai dasar dalam proses rekonstruksi model tiga dimensi (3D model). Untuk membentuk permukaan objek dari data point cloud, dapat digunakan berbagai metode rekonstruksi, seperti Delaunay Triangulation, Alpha Shapes, dan Ball Pivoting. Masing-masing metode memiliki karakteristik serta keunggulan dalam menghasilkan model permukaan yang lebih akurat, realistis, dan mendekati kondisi objek sebenarnya (Artha dkk., 2017).

Selain digunakan untuk rekonstruksi model tiga dimensi, data *point cloud* juga memiliki berbagai aplikasi pada bidang pemetaan, arsitektur, dan rekayasa. Dalam bidang pemetaan, data ini dimanfaatkan untuk menghasilkan model permukaan bumi, seperti *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM), yang memiliki tingkat ketelitian tinggi. Pada bidang arsitektur, *point cloud* berperan sebagai sumber data dalam penerapan *Building Information Modeling* (BIM) untuk mendukung proses perencanaan, dokumentasi, dan pengelolaan bangunan. Selain itu, data *point cloud* dapat dikombinasikan dengan teknik fotogrametri maupun citra satelit sehingga memungkinkan dilakukannya analisis spasial yang lebih menyeluruh dan komprehensif (Haque dkk., 2024).

2.2.5. Model 3D (3 Dimensi)



Gambar 4. 3D Point Cloud Model
(Sumber: porcoast-bim.com)

Objek tiga dimensi (3D) merupakan representasi suatu benda yang didefinisikan dalam sistem koordinat Kartesius menggunakan tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Keberadaan ketiga sumbu tersebut memungkinkan objek memiliki dimensi panjang, lebar, dan tinggi, sehingga mampu menggambarkan bentuk nyata secara lebih realistis. Pada dasarnya, seluruh objek yang ada di dunia nyata memiliki karakteristik tiga dimensi. Sementara itu, model dapat diartikan sebagai representasi atau tiruan dari suatu objek nyata. Dengan demikian, model 3D merupakan bentuk digital yang merepresentasikan karakteristik geometris suatu objek sehingga menyerupai kondisi aslinya (Fakih, 2025).

Model 3D kawasan adalah representasi digital suatu wilayah dalam bentuk tiga dimensi yang menyajikan berbagai unsur permukaan bumi, seperti bangunan, jaringan jalan, vegetasi, badan air, serta kondisi topografi, dalam satu sistem koordinat yang saling terintegrasi. Berbeda dengan model 3D yang hanya menggambarkan satu objek secara individual, model 3D kawasan menampilkan keseluruhan wilayah beserta hubungan spasial antarobjek di dalamnya. Penyajian dalam bentuk tiga dimensi memungkinkan pengamatan terhadap bentuk, posisi, ukuran, dan susunan objek secara lebih nyata

dibandingkan representasi dua dimensi. Oleh karena itu, model 3D kawasan banyak dimanfaatkan untuk mendukung kegiatan pemetaan, analisis geospasial, perencanaan dan penataan wilayah, inventarisasi aset, serta visualisasi kondisi eksisting suatu kawasan.

2.2.6. *Ground Control Point (GCP)*

Ground Control Point (GCP) atau titik kontrol tanah merupakan titik acuan di lapangan yang dapat dikenali dengan jelas pada citra maupun foto udara serta memiliki koordinat yang diketahui pada sistem koordinat tanah dan sistem koordinat foto. Keberadaan GCP sangat penting dalam proses transformasi koordinat dari sistem koordinat foto ke sistem koordinat permukaan bumi sehingga posisi objek pada citra dapat direferensikan secara akurat. Titik yang digunakan sebagai GCP harus merepresentasikan lokasi yang sama pada kedua sistem koordinat tersebut. Dalam proses koreksi geometrik citra, GCP berfungsi sebagai penghubung antara sistem koordinat foto dan sistem koordinat tanah. Penentuan koordinat GCP dapat dilakukan menggunakan beberapa metode survei, seperti triangulasi, trilaterasi, poligon, maupun pengukuran dengan *Global Positioning System (GPS)* untuk memperoleh koordinat planimetris (X dan Y). Adapun koordinat vertikal atau elevasi (Z) dapat ditentukan melalui metode sipat datar (*leveling*) maupun pengukuran trigonometris (Subakti, 2017).

Selain berfungsi sebagai acuan dalam proses transformasi koordinat, *Ground Control Point (GCP)* juga memiliki peran penting dalam meningkatkan ketelitian hasil pemetaan dan pemodelan tiga dimensi pada kegiatan fotogrametri. Keberadaan GCP membantu mengoreksi berbagai distorsi geometrik pada citra udara yang dapat disebabkan oleh kemiringan kamera, perubahan ketinggian terbang, maupun pergerakan atau rotasi wahana saat proses akuisisi data. Pada tahap pengolahan citra, selisih antara koordinat GCP hasil pengukuran di lapangan dan koordinat GCP yang diidentifikasi pada citra digunakan sebagai dasar untuk melakukan koreksi geometrik. Melalui proses tersebut, hasil pemetaan yang diperoleh dari citra drone atau citra satelit dapat disesuaikan dengan kondisi sebenarnya di lapangan sehingga menghasilkan data yang lebih akurat (Fakih, 2025).

Penempatan *Ground Control Point (GCP)* perlu dirancang agar tersebar secara merata di seluruh area survei sehingga mampu merepresentasikan keseluruhan wilayah pemetaan. Titik GCP sebaiknya berada pada lokasi yang mudah dikenali pada citra serta dapat diukur dengan tingkat ketelitian tinggi menggunakan peralatan survei, seperti GPS geodetik, *total station*, maupun metode pengukuran lainnya. Umumnya, GCP diwujudkan dalam bentuk penanda fisik atau panel yang dipasang pada lokasi-lokasi strategis di permukaan tanah agar dapat terlihat dengan jelas pada foto udara. Jumlah GCP yang memadai serta ketelitian pengukurannya sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pemetaan, baik dari aspek akurasi horizontal maupun vertikal. Dengan demikian, data yang dihasilkan dari pemotretan menggunakan drone dapat memiliki tingkat keandalan yang tinggi untuk mendukung kegiatan perencanaan, pemetaan topografi, maupun pembangunan model tiga dimensi (3D) (Natar dkk., 2020).

2.2.7. *Independent Check Point (ICP)*

Independent Check Point (ICP) atau titik uji merupakan titik kontrol tanah yang dimanfaatkan untuk mengevaluasi tingkat ketelitian geometrik hasil pemetaan dengan cara membandingkan koordinat yang diperoleh dari produk fotogrametri dengan koordinat hasil pengukuran langsung di lapangan. Berbeda dengan *Ground Control Point (GCP)* yang digunakan dalam proses koreksi geometrik dan georeferensi selama pengolahan data, ICP tidak dilibatkan dalam pembentukan model maupun penyesuaian koordinat. Penggunaan ICP dilakukan setelah seluruh tahapan pengolahan selesai sehingga berfungsi sebagai data independen untuk menguji kualitas hasil pemetaan. Dengan demikian, ICP memiliki peranan penting dalam memberikan penilaian terhadap tingkat akurasi geometrik produk pemetaan secara objektif dan dapat dipertanggungjawabkan (Natar dkk., 2020).

Koordinat ICP yang diperoleh melalui pengukuran lapangan digunakan sebagai acuan dalam proses validasi hasil fotogrametri. Koordinat tersebut kemudian dibandingkan dengan koordinat titik yang sama pada produk pemetaan, seperti orthofoto maupun *Digital Elevation Model (DEM)*. Perbedaan koordinat antara kedua data tersebut menunjukkan besarnya kesalahan posisi (*error*) yang selanjutnya dihitung menggunakan parameter statistik, seperti *Root Mean Square Error (RMSE)*, *Circular Error 90% (CE90)*,

dan *Linear Error 90%* (LE90). Nilai-nilai tersebut menjadi dasar dalam menilai tingkat ketelitian horizontal maupun vertikal dari produk pemetaan yang dihasilkan (Haque dkk., 2024).

Dalam pelaksanaannya, titik ICP harus ditempatkan secara merata di seluruh area penelitian agar mampu merepresentasikan kondisi wilayah secara menyeluruh. Selain itu, titik-titik tersebut tidak boleh digunakan sebagai *Ground Control Point* (GCP) pada proses pengolahan data sehingga sifat independennya tetap terjaga. Penerapan ICP dengan cara tersebut memungkinkan proses validasi dilakukan secara objektif, sehingga kualitas geometrik produk fotogrametri, seperti orthofoto, *Digital Elevation Model* (DEM), dan model tiga dimensi (3D), dapat dinilai secara lebih akurat dan andal.

2.2.8. Skala Foto Udara

Skala merupakan perbandingan antara jarak yang digambarkan pada peta atau citra dengan jarak sebenarnya di permukaan bumi. Pada foto udara, skala menunjukkan hubungan antara ukuran objek yang terekam pada citra dengan ukuran objek yang sebenarnya di lapangan. Berbeda dengan peta yang memiliki skala tetap karena dihasilkan melalui proyeksi ortogonal, skala pada foto udara dapat berubah akibat variasi elevasi permukaan tanah. Besarnya skala foto udara juga dipengaruhi oleh karakteristik kamera yang digunakan, terutama panjang fokus lensa dan sudut liputannya. Sudut liputan lensa merupakan sudut yang dibentuk oleh sistem optik kamera dalam merekam area permukaan bumi ke sensor. Semakin pendek panjang fokus lensa, semakin besar sudut liputan yang dihasilkan sehingga cakupan area yang terekam menjadi lebih luas (Hamur dkk., 2019).

Ketinggian wahana saat pengambilan foto udara berpengaruh terhadap skala citra yang dihasilkan. Semakin tinggi posisi wahana, semakin kecil skala foto udara sehingga area yang tercakup menjadi lebih luas, namun tingkat detail objek yang terekam cenderung berkurang. Sebaliknya, pengambilan gambar pada ketinggian yang lebih rendah menghasilkan skala yang lebih besar dengan cakupan wilayah yang lebih sempit, tetapi mampu menampilkan objek secara lebih rinci. Oleh karena itu, penentuan ketinggian terbang perlu disesuaikan dengan kebutuhan pemetaan. Besarnya skala foto udara dapat ditentukan melalui perhitungan menggunakan rumus yang sesuai.

$$S = \frac{f}{h} \quad (1)$$

Keterangan:

S = Skala foto udara

f = Panjang fokus

H = tinggi terbang dari tempat yang dipotret

$$S = \frac{d}{D} \quad (2)$$

Keterangan:

S = Skala foto

d = Jarak di foto

D = Jarak di lapangan

2.2.9. Orthorektifikasi

Orthorektifikasi adalah proses perbaikan geometrik pada citra udara yang bertujuan mengoreksi distorsi akibat kemiringan sensor, variasi topografi permukaan bumi, serta karakteristik sistem perekaman. Melalui proses ini, setiap piksel diposisikan kembali sesuai dengan koordinat sebenarnya di permukaan bumi sehingga menghasilkan citra dengan skala yang seragam dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar pemetaan. Dalam fotogrametri, orthorektifikasi dilakukan dengan memanfaatkan informasi posisi kamera, *Digital Elevation Model* (DEM), dan *Ground Control Point* (GCP) sebagai referensi untuk meningkatkan

ketelitian geometrik. Hasil dari proses tersebut berupa orthophoto yang memiliki ketelitian posisi tinggi sehingga dapat digunakan untuk pengukuran, interpretasi objek, serta penyusunan berbagai produk geospasial, seperti *orthomosaic*, *Digital Surface Model* (DSM), dan model tiga dimensi (Hidayat dkk., 2016).

Ground Control Point (GCP) merupakan titik kontrol di lapangan yang memiliki koordinat diketahui dan digunakan sebagai referensi dalam menghubungkan koordinat pada citra dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi. Keberadaan GCP berperan penting dalam meminimalkan kesalahan geometrik sehingga meningkatkan ketelitian posisi hasil orthorektifikasi. Melalui tahapan tersebut, orthophoto yang dihasilkan memiliki skala yang seragam, sesuai dengan sistem proyeksi peta, serta dapat diintegrasikan dengan berbagai data geospasial untuk mendukung penyusunan *Digital Elevation Model* (DEM), *orthomosaic*, dan berbagai analisis spasial yang memerlukan tingkat ketelitian geometrik yang tinggi (Sastra dkk., 2023).

2.2.10. Root Mean Square Error (RMSE).

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan rata-rata antara koordinat hasil pengukuran dengan koordinat acuan yang memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi. Nilai RMSE diperoleh dari akar kuadrat nilai rata-rata kuadrat selisih koordinat, sehingga dapat digunakan sebagai indikator dalam mengevaluasi akurasi geometrik suatu data spasial. Pada penelitian ini, perhitungan RMSE dilakukan untuk memperoleh nilai RMSE horizontal dan RMSE vertikal yang merepresentasikan tingkat ketelitian posisi pada arah horizontal dan vertikal. Nilai tersebut dihitung dengan membandingkan koordinat *Independent Check Point* (ICP) hasil pengukuran menggunakan metode *Real Time Kinematic* (RTK) terhadap koordinat ICP yang diperoleh dari hasil pengolahan peta foto. Besarnya selisih antara kedua data tersebut menunjukkan tingkat penyimpangan posisi hasil pemetaan terhadap kondisi sebenarnya di lapangan, sehingga RMSE menjadi salah satu parameter utama dalam penilaian akurasi spasial (Gunawan dkk., 2019). Persamaan umum yang digunakan untuk menghitung nilai RMSE disajikan sebagai berikut.

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum(\Delta r)^2}{n}} \quad (3)$$

$$(\Delta r)^2 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (4)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{data} - Z_{cek})^2}{n}} \quad (5)$$

Keterangan

- N = jumlah total pengecekan pada peta.
- Δr = nilai selisih jarak antara koordinat lapangan dengan koordinat peta *orthophoto*.
- Δx = nilai selisih koordinat pada sumbu.
- X Δy = nilai Koordinat pada sumbu.
- Y z = nilai koordinat pada sumbu Z.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perencanaan Misi Penerbangan

Pada penelitian ini, perencanaan misi penerbangan dilaksanakan menggunakan DJI Pilot 2 yang terintegrasi dengan UAV DJI Matrice 4 Enterprise. Proses perencanaan diawali dengan penentuan *Area of Interest* (AOI) seluas 9,4 ha, kemudian dilanjutkan dengan pengaturan parameter penerbangan yang meliputi ketinggian terbang 90 meter, kecepatan 7 m/s, front overlap 80%, dan side overlap 85%. Berdasarkan konfigurasi tersebut, DJI Pilot 2 secara otomatis menghitung *Ground Sampling Distance* (GSD) sebesar 2,42 cm/pixel sesuai dengan spesifikasi kamera UAV dan ketinggian penerbangan yang digunakan. Nilai GSD tersebut menunjukkan bahwa setiap piksel pada citra merepresentasikan area

permukaan bumi seluas $2,42 \text{ cm} \times 2,42 \text{ cm}$, sehingga citra yang diperoleh memiliki resolusi spasial yang tinggi dan mampu menyajikan detail objek permukaan secara jelas.

Kombinasi parameter penerbangan tersebut dirancang untuk menghasilkan cakupan citra dengan tingkat tumpang tindih (*overlap*) yang memadai sehingga proses pencocokan citra (*image matching*) pada tahapan pengolahan fotogrametri dapat dilakukan secara optimal. Penggunaan front overlap sebesar 80% dan *side overlap* sebesar 85% memungkinkan terbentuknya jumlah *tie points* yang cukup untuk mendukung pembentukan *dense point cloud*, *Digital Elevation Model* (DEM), orthofoto, serta model tiga dimensi (3D) kawasan permukiman dengan tingkat ketelitian geometrik yang baik.

3.2. Ground Control Point (GCP)

Pada penelitian ini, sebanyak 5 *Ground Control Point* (GCP) ditempatkan secara merata di kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kota Batam. Penempatan titik-titik tersebut bertujuan untuk mendukung proses georeferensi citra sehingga produk fotogrametri yang dihasilkan memiliki ketelitian geometrik yang baik.

Koordinat *Ground Control Point* (GCP) diperoleh melalui pengukuran menggunakan GNSS geodetik dengan metode statik selama sekitar 0,30 jam pada setiap titik. Metode ini memanfaatkan perekaman sinyal satelit secara kontinu untuk menghasilkan koordinat yang memiliki ketelitian dan konsistensi tinggi, sekaligus mengurangi pengaruh gangguan atmosfer dan efek *multipath*. Berdasarkan hasil pengukuran, seluruh titik GCP memenuhi persyaratan sebagai titik kontrol dalam proses pengolahan data fotogrametri serta telah sesuai dengan standar ketelitian Jaring Kontrol Horizontal (JKH) Orde 4 mengacu pada Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018. Rincian koordinat hasil pengukuran GCP disajikan pada Tabel 2.

Nama Titik	X	Y	Z
GCP1	3768102.963	1273912.781	12.013
GCP2	3769019.240	1272623.808	18.630
GCP3	3768478.548	1270758.589	11.091
GCP4	3766599.766	1272543.180	11.889
GCP5	3768351.016	1271771.029	29.332

Tabel 2. GCP
(Hasil Pengambilan Data GCP, 2026)

3.3. Independent Check Point (ICP)

Sebanyak 12 *Independent Check Point* (ICP) digunakan dalam penelitian ini dan ditempatkan pada beberapa lokasi yang tersebar di kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kota Batam. Pengukuran koordinat setiap titik dilakukan menggunakan GNSS geodetik dengan metode *Real Time Kinematic* (RTK) sehingga koordinat dapat diperoleh secara langsung di lapangan dengan tingkat ketelitian yang tinggi tanpa memerlukan tahapan *post-processing*.

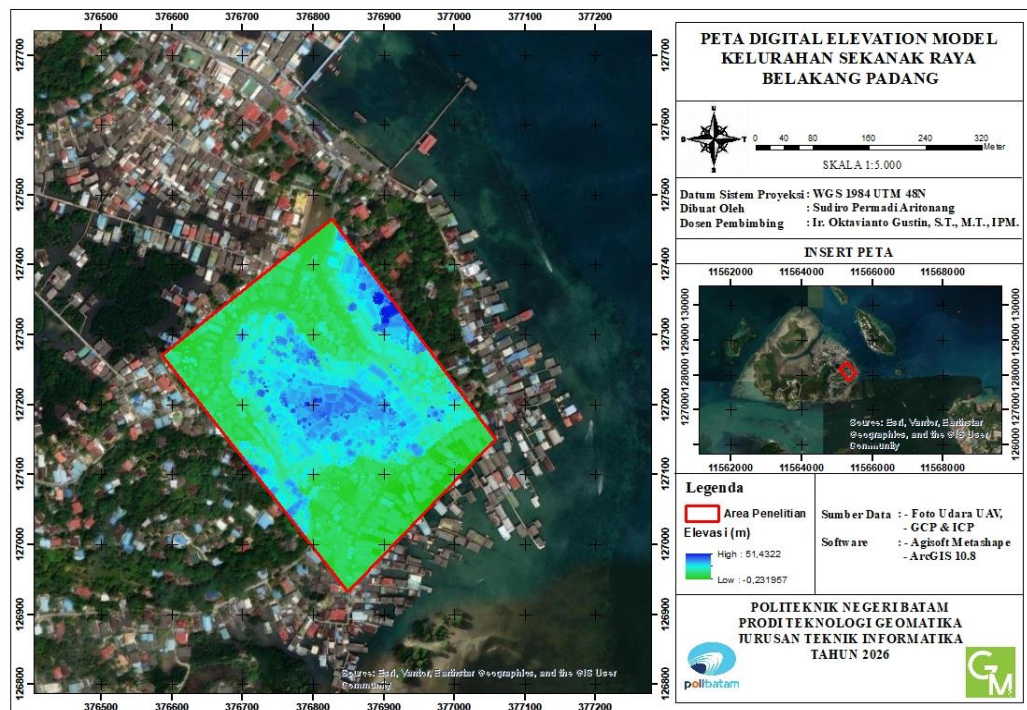
Seluruh titik *Independent Check Point* (ICP) digunakan sebagai titik uji untuk mengevaluasi ketelitian geometrik produk fotogrametri dan tidak dilibatkan dalam proses georeferensi maupun pembentukan model. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil pengukuran menggunakan GNSS RTK dengan koordinat titik yang bersesuaian pada produk fotogrametri. Selisih koordinat yang diperoleh selanjutnya dihitung untuk mendapatkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai parameter penilaian akurasi horizontal dan vertikal. Hasil pengukuran koordinat ICP disajikan pada Tabel 3.

Nama Titik	X	Y	Z
ICP 1	376803.4133	127394.1767	12.0482
ICP 2	376892.1105	127264.3688	18.3111
ICP 3	376953.1378	127180.9583	23.7896
ICP 4	376903.6523	127084.7912	11.1455
ICP 5	376857.7569	127013.1665	11.2228
ICP 6	376757.2486	127101.4486	17.3453
ICP 7	376667.7734	127234.5998	11.7088
ICP 8	376707.1856	127339.0679	11.8458
ICP 9	376761.6614	127346.8307	11.6323
ICP 10	376824.0752	127179.3553	29.6854
ICP 11	376848.7555	127175.6009	28.8588
ICP 12	376851.8177	127091.0557	11.0844

Tabel 3. ICP
(Hasil Pengambilan Data ICP, 2026)

3.4. Hasil Pengolahan Data Foto Udara

3.3.1. Digital Elevation Model (DEM)



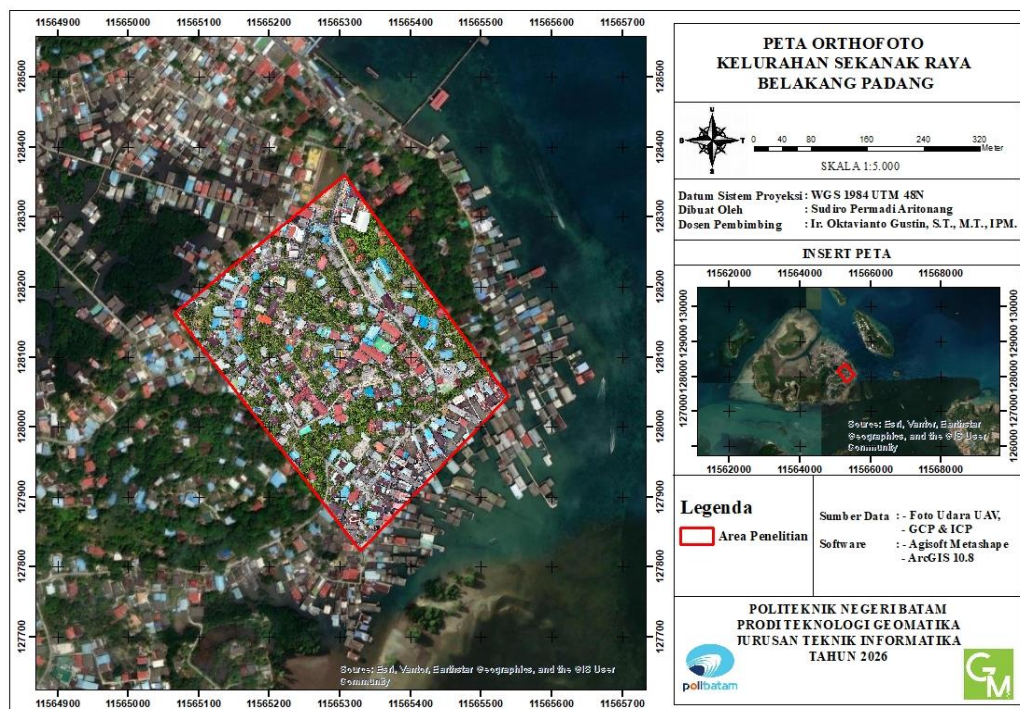
Gambar 5. Peta Digital Elevation Model Kelurahan Sekanak Raya Belakang Padang
(Sumber: Data Hasil Pengolahan, 2026)

Gambar 5 memperlihatkan hasil *Digital Elevation Model* (DEM) yang diperoleh dari pengolahan citra udara menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) di kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kecamatan Belakang Padang, Kota Batam. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki kondisi topografi yang cenderung

datar hingga landai dengan kisaran elevasi -0,231967 m sampai 51,4322 m. Rentang elevasi tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar area merupakan dataran rendah khas kawasan permukiman pesisir, meskipun terdapat beberapa bagian yang memiliki elevasi lebih tinggi.

Data *Digital Elevation Model* (DEM) yang dihasilkan mampu menggambarkan kondisi elevasi permukaan wilayah penelitian dengan baik. Informasi tersebut dimanfaatkan sebagai data pendukung dalam penyusunan model tiga dimensi (3D), proses orthorektifikasi, serta evaluasi ketelitian geometrik. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa metode fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mampu menghasilkan data elevasi yang merepresentasikan kondisi lapangan secara akurat dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai analisis geospasial.

3.3.2. Orthofoto



Gambar 6. Peta Orthofoto Kelurahan Sekanak Raya Belakang Padang
(Sumber: Data Hasil Pengolahan, 2026)

Gambar 6 memperlihatkan hasil orthofoto kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kecamatan Belakang Padang, Kota Batam yang diperoleh melalui pengolahan citra udara menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Hasil pengolahan menghasilkan orthofoto dengan kualitas visual yang baik, sehingga berbagai objek seperti bangunan, jaringan jalan, vegetasi, dan garis pantai dapat diamati secara jelas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa orthofoto mampu menggambarkan keadaan eksisting wilayah penelitian dengan tingkat detail yang baik.

Orthofoto hasil pengolahan dimanfaatkan sebagai data pendukung dalam interpretasi objek, analisis spasial, penyusunan peta tematik, serta pemodelan tiga dimensi (3D). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mampu menghasilkan informasi geospasial yang merepresentasikan kondisi lapangan dengan baik dan dapat digunakan untuk mendukung berbagai kegiatan pemetaan.

3.3.3. Model 3D



Gambar 7. Pemodelan 3D Permukiman Kelurahan Sekanak Raya Belakang Padang
(Sumber: Data Hasil Pengolahan, 2026)



Gambar 8. Pemodelan 3D Permukiman Kelurahan Sekanak Raya Belakang Padang
(Sumber: Data Hasil Pengolahan, 2026)

Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan hasil pemodelan tiga dimensi (3D) kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kota Batam yang diperoleh melalui pengolahan data fotogrametri udara menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Model yang dihasilkan mampu menggambarkan kondisi eksisting wilayah dengan menampilkan berbagai objek permukaan, seperti bangunan, jaringan jalan, vegetasi, dan kontur tanah, secara detail sehingga mempermudah proses interpretasi bentuk serta pola permukiman.

Hasil pemodelan juga menampilkan sebaran *Ground Control Point* (GCP) yang digunakan sebagai titik kontrol pada proses georeferensi untuk meningkatkan ketelitian geometrik. Penyajian model dari dua sudut pandang memberikan visualisasi kawasan yang lebih komprehensif sehingga bentuk dan karakteristik wilayah dapat diamati dengan lebih jelas. Seluruh model disajikan menggunakan sistem koordinat WGS 1984 UTM Zona 48N yang memberikan referensi posisi spasial untuk mendukung berbagai analisis geospasial. Selain itu, hasil pengujian ketelitian geometrik yang memenuhi standar menunjukkan bahwa model tiga dimensi yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai data pendukung dalam kegiatan pemetaan, inventarisasi objek, analisis spasial, dan perencanaan wilayah.

3.3.4. Uji Akurasi Horizontal (CE90)

NO ICP	X		(D-X)	(D-X) ²	Y		(D-Y)	(D-Y) ²	(D-X) ² + (D-Y) ²
	Koordinat ICP	Koordinat Orthofoto			Koordinat ICP	Koordinat Orthofoto			
ICP 1	376804.0300	376803.4133	-0.617	0.380	127394.4960	127394.1767	-0.319	0.102	0.482
ICP 2	376892.3460	376892.1105	-0.236	0.055	127264.2810	127264.3688	0.088	0.008	0.063
ICP 3	376953.3430	376953.1378	-0.205	0.042	127181.1360	127180.9583	-0.178	0.032	0.074
ICP 4	376902.9220	376903.6523	0.730	0.533	127085.5130	127084.7912	-0.722	0.521	1.054
ICP 5	376857.1680	376857.7569	0.589	0.347	127013.5330	127013.1665	-0.367	0.134	0.481
ICP 6	376757.2930	376757.2486	-0.044	0.002	127100.5680	127101.4486	0.881	0.775	0.777
ICP 7	376667.3430	376667.7734	0.430	0.185	127235.0340	127234.5998	-0.434	0.189	0.374
ICP 8	376707.4700	376707.1856	-0.284	0.081	127339.3370	127339.0679	-0.269	0.072	0.153
ICP 9	376762.2280	376761.6614	-0.567	0.321	127347.0860	127346.8307	-0.255	0.065	0.386
ICP 10	376824.5190	376824.0752	-0.444	0.197	127178.7470	127179.3553	0.608	0.370	0.567
ICP 11	376848.3680	376848.7555	0.388	0.150	127175.8030	127175.6009	-0.202	0.041	0.191
ICP 12	376851.6980	376851.8177	0.120	0.014	127092.3290	127091.0557	-1.273	1.621	1.636
Jumlah									6.239
Rata-Rata									0.520
RMSE									0.721
Akurasi									1.094

Tabel 4. Ketelitian Geometrik Horizontal
(Sumber: Data Hasil Pengolahan, 2026)

Berdasarkan evaluasi ketelitian geometrik horizontal yang dilakukan menggunakan 12 titik *Independent Check Point* (ICP), diperoleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) horizontal sebesar 0,721 m. Nilai RMSE tersebut selanjutnya dikonversi menjadi *Circular Error* 90% (CE90) dengan hasil sebesar 1,094 m. Penentuan kelas ketelitian dilakukan melalui perbandingan nilai CE90 terhadap batas toleransi ketelitian horizontal yang tercantum dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018, dengan mengacu pada skala peta yang digunakan. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, nilai CE90 memenuhi kriteria Kelas 1, sehingga orthofoto yang dihasilkan memiliki ketelitian geometrik yang sesuai dengan standar. Oleh karena itu, orthofoto tersebut dapat dimanfaatkan sebagai data dasar yang andal untuk kegiatan pemetaan, analisis spasial, serta penyusunan model tiga dimensi (3D).

3.3.5. Ketelitian Geometrik Vertikal (LE90)

Nama Titik	Z		(D Z)	(D Z) ²
	Koordinat ICP	(Koordinat DEM)		
ICP 1	12.096	12.048	0.048	0.002
ICP 2	18.344	18.311	0.033	0.001
ICP 3	23.572	23.790	-0.218	0.047
ICP 4	11.157	11.146	0.011	0.000
ICP 5	11.216	11.223	-0.007	0.000
ICP 6	17.454	17.345	0.109	0.012
ICP 7	11.788	11.709	0.079	0.006
ICP 8	11.846	11.846	0.000	0.000
ICP 9	11.767	11.632	0.135	0.018
ICP 10	29.449	29.685	-0.236	0.056
ICP 11	29.040	28.859	0.181	0.033
ICP 12	11.207	11.084	0.123	0.015
			Jumlah	0.191
			Rata-Rata	0.016
			RMSE	0.126
			Akurasi	0.208

Tabel 5. Ketelitian Geometrik Vertikal
(Sumber: Data Hasil Pengolahan, 2026)

Evaluasi ketelitian vertikal yang dilakukan menggunakan 12 titik *Independent Check Point* (ICP) menghasilkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) vertikal sebesar 0,126 m. Nilai RMSE tersebut kemudian dikonversi menjadi *Linear Error* 90% (LE90) dengan hasil 0,208 m. Tahap berikutnya adalah menentukan kelas ketelitian melalui perbandingan nilai LE90 dengan batas toleransi ketelitian vertikal yang ditetapkan dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 berdasarkan skala peta yang digunakan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai LE90 memenuhi kriteria Kelas 1, sehingga *Digital Elevation Model* (DEM) yang dihasilkan memiliki ketelitian geometrik sesuai dengan standar yang berlaku. Dengan tingkat akurasi tersebut, DEM dapat dimanfaatkan sebagai sumber data elevasi yang andal untuk mendukung penyusunan model tiga dimensi (3D) maupun berbagai analisis geospasial yang membutuhkan informasi ketinggian secara akurat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menerapkan metode fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk menghasilkan produk geospasial berupa orthofoto, *Digital Elevation Model* (DEM), dan model tiga dimensi (3D) pada kawasan permukiman Belakang Padang, Kelurahan Sekanak Raya, Kota Batam. Model tiga dimensi yang dihasilkan mampu menggambarkan kondisi eksisting wilayah secara detail, meliputi bangunan, vegetasi, jaringan jalan, dan bentuk permukaan tanah. Evaluasi ketelitian geometrik menunjukkan bahwa orthofoto memperoleh nilai *Circular Error* 90% (CE90) sebesar 1,094 m, sedangkan DEM memperoleh nilai *Linear Error* 90% (LE90) sebesar 0,208 m. Selanjutnya, kedua nilai tersebut dibandingkan dengan batas toleransi ketelitian yang ditetapkan dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 berdasarkan skala peta yang digunakan. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa orthofoto dan DEM memenuhi kriteria ketelitian geometrik Kelas 1, sehingga keduanya layak dimanfaatkan sebagai data dasar dalam kegiatan pemetaan, analisis geospasial, serta pengembangan model tiga dimensi. Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mampu menghasilkan informasi geospasial yang memiliki tingkat akurasi tinggi dan berpotensi mendukung berbagai kebutuhan, seperti perencanaan wilayah, penataan permukiman, inventarisasi aset, serta pengelolaan kawasan secara berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Oktavianto Gustin. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan tugas akhir ini, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Saya juga ingin menyampaikan apresiasi kepada diri saya sendiri karena telah mampu bertahan, terus berusaha, dan tidak menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses penelitian hingga

penyusunan tugas akhir. Seluruh proses yang telah dilalui memberikan banyak pelajaran tentang kerja keras, kedisiplinan, kesabaran, dan tanggung jawab. Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang geomatika.

Daftar Pustaka (Format APA)

- Syauqani, A., Subiyanto, S., & Suprayogi, A. (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*, 6(1), 249–257.
- Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial.
- Roziqin, A., Gustin, O., Pratama, R. W., Saputra, A. D. N., Pernadi, R., Junaika, D. T., Al Fitrah, M. I., Syahrani, A., Amelia, R., Aritonang, F. L., Zahrani, 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 (IRWNS 2022)*.
- Tjahjadi, M. E., & Rifaan, M. (n.d.). Foto udara menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk pemodelan 3D jalan raya.
- Firmansyah, Z., Susilo, Y., & Wijayanti, R. F. (2025). Perbandingan metode PPK (*Post Processed Kinematic*) dan titik GCP (*Ground Control Point*) foto udara: Studi kasus Desa Kalipecabean, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Geodesi Undip*, 14(1), 41–50.
- Ariyantoni, J., Sastra, A. R., & Mustika, A. (2024). Analisis optimalisasi pengukuran GNSS statik menggunakan jaring radial. *Jurnal Ilmiah Tekno Global*, 13(2),
- Haque, M. I., Susilo, Y., Mahardianti, M. A., Prabawa, S. E., & Yahya, F. (2024). Pemanfaatan pesawat UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk pembuatan peta citra desa dengan metode fotogrametri (Studi kasus: Desa Kalipecabean, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Geodesi Undip*, 13(2), 495–507.
- DJI. (2025). DJI Matrice 4 Series: The age of intelligent flight [Brosur produk]. DJI.
- Priambodo, D. A., Tjahjadi, M. E., & Suhari, K. T. (2022). Pembuatan model 3D jalan raya Bayat untuk keperluan existing menggunakan metode foto udara (UAV) di Klaten. *Teras Jurnal*, 12(1), 177–190.
- Sandria, R., Cordova, K., & Rassarandi, F. D. (2025). Uji akurasi peta foto udara skala 1:5000 sebagai peta dasar berdasarkan Juknis PTSL Tahun 2023 (Studi kasus: Tanjung Piayu, Batam, Kepulauan Riau). *Jurnal Integrasi*, 17(2), 117–121.
- Sastra, A. R., Putri, D. N., & Veranika, A. (2023). Analisis akurasi ketelitian vertikal DEM foto udara pada kawasan permukiman (Studi kasus: Kelurahan Sekip Jaya, Kecamatan Kemuning, Palembang). *Jurnal Ilmiah Tekno Global*, 12(1), 41–46.