

ANALISIS PENGARUH OPTIMASI DESAIN JARING *GROUND CONTROL POINT* (GCP) TERHADAP KETELITIAN SKALA HASIL REKTIFIKASI FOTO UDARA

(Skripsi)

Oleh

**REZA AMALIA
NPM 1915013007**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH OPTIMASI DESAIN JARING *GROUND CONTROL POINT* (GCP) TERHADAP KETELITIAN SKALA HASIL REKTIFIKASI FOTO UDARA

Oleh

REZA AMALIA

Kualitas ketelitian foto udara yang baik apabila memiliki tingkat akurasi tinggi yang dihasilkan dari proses koreksi foto dengan GCP yang teliti. GCP merupakan titik bantu di lapangan yang digunakan untuk mengkoreksi suatu foto udara dalam mengurangi kesalahan pada foto. Untuk menghasilkan akurasi titik GCP yang baik, dibutuhkan pengukuran GCP yang teliti. Penentuan GCP yang teliti dapat menggunakan desain jaring. Dalam koreksi foto udara banyak variabel yang mempengaruhinya, sehingga apakah usaha untuk meningkatkan ketelitian GCP melalui desain jaringan cukup signifikan mempengaruhi ketelitian peta foto udara, sehingga perlu dianalisis sejauh mana pengaruh kualitas jaring terhadap peningkatan kualitas ketelitian peta foto.

Metode yang digunakan dalam optimasi desain jaring dengan 4 model desain jaringan menggunakan hitung perataan parameter. Data foto hasil akuisisi menggunakan UAV. Sebaran dan penempatan GCP ditentukan berdasarkan hasil desain jaring dan diukur dengan teknologi GNSS. GCP hasil optimasi desain jaring digunakan untuk pembentukan *orthophoto* secara digital. Perhitungan nilai CE90 digunakan untuk menentukan tingkat ketelitian horizontal skala peta. Berdasarkan ketelitian skala peta dapat diketahui tingkat akurasi foto yang dihasilkan. Selanjutnya dilakukan analisis ketelitian skala peta berdasarkan variasi desain jaring GCP.

Desain 1 merupakan desain paling optimal dengan nilai variansi-kovariansi dan SOF sebesar 1,6298 dan 0,25. Pada pembentukan *orthophoto*, desain 3 memiliki kesalahan paling kecil yaitu sebesar 8,3759 cm. Ketelitian skala berdasarkan CE90 yang dihasilkan pada desain 1, desain 2, desain 3, dan desain 4 sebesar 0,250184; 0,277924; 0,127105, dan 0,302074 termasuk ke dalam kelas 1 ketelitian skala 1:1.000. Hal ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan model desain jaringan tidak terlalu mempengaruhi ketelitian skala peta foto udara.

Kata Kunci: GCP Foto Udara, Ketelitian Skala Horizontal, Optimasi Desain Jaring, Perataan Jaring, UAV

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF OPTIMIZING GROUND CONTROL POINT (GCP) NETWORK DESIGN ON THE ACCURACY OF SCALE IN AERIAL PHOTOGRAPHY RECTIFICATION RESULTS

By

REZA AMALIA

The quality of photogrammetry is considered good when it exhibits a high level of accuracy resulting from the meticulous correction process with precise Ground Control Points (GCP). GCP are reference points in the field used to correct photogrammetry and reduce errors in the images. To achieve good accuracy in GCP, precise measurements are required. The determination of accurate GCP can involve the use of network designs. In aerial photo correction, many variables influence the process. Therefore, it is crucial to analyze the extent to which the quality of the network design affects the improvement of the accuracy of aerial photo maps. The method used in optimizing network design involves four network design models using parameter adjustment calculations. Photo data is acquired using UAVs. The distribution and placement of GCP are determined based on the network design and measured using GNSS technology. The optimized GCP resulting from the network design is used for digital orthophoto formation. The CE90 value calculation is employed to determine the level of horizontal accuracy of the map scale. Based on the map scale accuracy, the level of accuracy of the resulting photos can be determined. Subsequently, an analysis of map scale accuracy is conducted based on variations in GCP network designs. Design 1 is considered the most optimal with variance-covariance and SOF values of 1.6298 and 0.25, respectively. In the orthophoto formation, Design 3 exhibits the smallest error at 8.3759 cm. The scale accuracy based on CE90 resulting from Designs 1, 2, 3, and 4 is 0.250184, 0.277924, 0.127105, and 0.302074, respectively, all falling into the class 1 scale accuracy of 1:1,000. It can be concluded that the differences in network design models do not significantly affect the scale accuracy of aerial photo maps.

Key Words: GCP of Photogrammetry, Horizontal Scale Accuracy, Network Design Optimization, Network Adjustment, UAV.

**ANALISIS PENGARUH OPTIMASI DESAIN JARING *CONTROL POINT*
(GCP) TERHADAP KETELITIAN SKALA HASIL REKTIFIKASI FOTO
UDARA**

Oleh

REZA AMALIA

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH OPTIMASI DESAIN
JARING GROUND CONTROL POINT (GCP)
: TERHADAP KETELITIAN SKALA HASIL
REKTIFIKASI FOTO UDARA

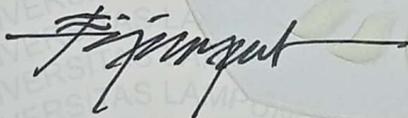
Nama Mahasiswa : Reza Amalia
NPM : 1915013007
Program Studi : S1 Teknik Geodesi
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

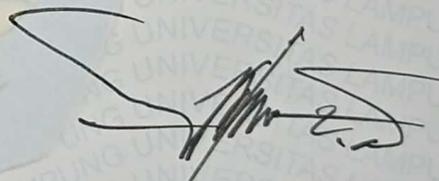
Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.

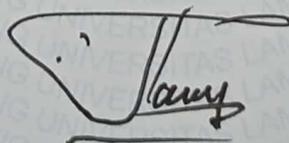
NIP 19720302 200604 1 002



Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU.

NIP 19730410 200801 1 008

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



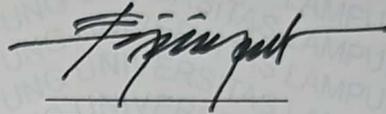
Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.

NIP 19641012 199203 1 002

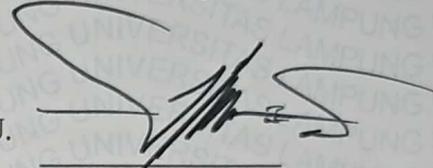
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

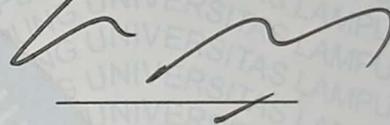
Ketua : Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.



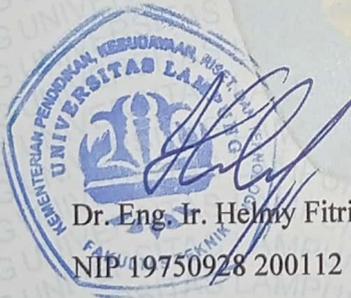
Sekretaris : Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU.



Anggota : Eko Rahmadi, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 04 Desember 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya Reza Amalia, NPM 1915013007, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam skripsi yang berjudul “ANALISIS PENGARUH OPTIMASI DESAIN JARING GROUND CONTROL POINT (GCP) TERHADAP KETELITIAN SKALA HASIL REKTIFIKASI FOTO UDARA” adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Dosen Pembimbing kesatu yaitu Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU., dan Dosen Pembimbing kedua yaitu Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Skripsi ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil masukkan dari beberapa sumber lain (buku, jurnal, dan lain-lain) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 04 Desember 2023

Yang membuat pernyataan



Reza Amalia

NPM 1915013007

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 10 Oktober 2001 sebagai anak kedua dari dua bersaudara yang merupakan Putri dari Bapak Ridwan dan Ibu Dewi Yulitasari. Penulis memiliki kakak Perempuan bernama Utami Fitriana. Penulis berdomisili di Kota Bandar Lampung.

Penulis menempuh pendidikan pertama pada Taman Kanak-Kanak (TK) Asuhan Bunda Sukabumi Indah, Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2006. Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 1 Sukabumi Indah pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 23 Bandar Lampung pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Survei GNSS pada tahun 2022. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada bulan Januari-Februari 2022 selama 40 hari di Kelurahan Pematang Wangi, Kecamatan Tanjung Senang, Kota Bandar Lampung. Setelah melaksanakan KKN, penulis melanjutkan dengan pelaksanaan Kerja Praktik (KP) di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung selama 30 hari pada bulan Juli-Agustus 2022.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil' alamin

Puji Syukur kepada Allah SWT Tuhan semesta alam dan atas dukungan serta doa dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu dengan rasa Syukur dan Bahagia saya persembahkan rasa terima kasih saya kepada:

Kedua orang tua saya yang telah banyak memberikan dukungan secara materil dan morel sehingga saya mampu sampai pada tahap menyelesaikan skripsi. Terima kasih atas segala ajaran moral, pengorbanan, nasihat dan doa baik yang selalu terucap. Saya selamanya bersyukur atas keberadaan kalian sebagai orang tua.

Bapak/Ibu Dosen yang telah mengajarkan saya arti penting dari ilmu pengetahuan dan membantu saya dalam mengembangkan perspektif dan pola pikir, serta teman-teman Angkatan 2019 Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah memberikan dorongan dan dukungan yang positif kepada saya.

Teman-teman di luar perkuliahan saya yang senantiasa selalu mendengarkan keluhan dan memberikan banyak masukan kepada saya.

Skripsi ini juga saya persembahkan kepada teman-teman online yang selalu memberikan banyak dukungan kepada saya serta kepada para idol K-Pop terkhusus NCT Dream yang telah berkarya sehingga dapat saya nikmati sebagai penyemangat saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

MOTTO

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,
Maka apabila kamu telah selesai dari sesuatu urusan kerjakanlah dengan
sungguh-sungguh urusan lain,
Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”*

(Q.S. Al Insyirah 6-8)

*“For all of you who are striving for your dreams, You should believe in yourself
and don't let anyone bring you down. You know Negativity does not exist. It's all
about positivity. So keep that on mind. Have a good friends around you. Have a
good peers. Surround yourself with good people cause you're a good person too.”*

(Lee Minhyung)

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Optimasi Desain Jaring *Ground Control Point* (GCP) terhadap Ketelitian Skala Hasil Rektifikasi Foto Udara” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Dalam proses penulisan sampai dengan penyusunan Skripsi ini, penulis mendapat dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan dan bantuan serta nasihat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan dan bantuan serta nasihat dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan saran yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi ini.
6. Kedua orang tua dan kakak penulis yang selalu mendoakan agar kegiatan perkuliahan dilancarkan oleh Allah SWT serta memberikan dukungan morel dan juga dukungan materil.
7. Kepada seluruh teman-teman Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung Angkatan 2019 dan teman-teman lain yang telah mendukung serta memberi semangat, saran, dan motivasi kepada penulis.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing serta membantu dalam menyelesaikan skripsi dari awal hingga akhir dalam penyusunan skripsi ini. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam menyelesaikan Skripsi ini, besar harapan penulis untuk menerima tanggapan, masukan, dan saran yang sifatnya membangun dan memotivasi. Demikian Skripsi ini disusun sebaik-baiknya agar dapat memberikan manfaat bagi pembaca khususnya bagi masyarakat, mahasiswa dan Universitas.

Bandar Lampung, 04 Desember 2023

Penulis

Reza Amalia

NPM 1915013007

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	v
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Hipotesis	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Koreksi Geometrik.....	4
2.2 <i>Ground Control Point</i> (GCP).....	5
2.3 <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS).....	6
2.4 Optimasi Desain Jaring Pengamatan	7
2.5 Analisis Kualitas Desain Jaring	8
2.5.1. Konsep Hitung Perataan	9
2.5.2. Perhitungan Geometri Jaring	11
2.6 Foto Udara	13
2.6.1 Geometri Foto Udara	14
2.6.2 Skala Foto Udara.....	14
2.6.3 Perencanaan Pemotretan	15
2.6.4 Konsep Rektifikasi.....	15
2.7 Konsep Ketelitian Peta.....	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Tempat Penelitian	18
3.2 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	19
3.2.1 Perangkat Keras	19

3.2.2 Perangkat Lunak	19
3.3 Data	19
3.4 Diagram Alir Penelitian	19
3.5 Tahapan Persiapan	21
3.6 Tahapan Pengolahan Data dan Analisis Hasil	22
3.6.1 Perhitungan Perataan Jaring.....	22
3.6.2 Perhitungan Nilai <i>Strength of Figure</i> (SOF).....	24
3.6.3 Pengolahan Foto Udara.....	24
3.6.4 Perhitungan Skala dan Ketelitian Geometri Foto Udara.....	25
3.6.5 Analisis Hasil	26
3.7 Tahapan Akhir	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Desain Jaring GCP	27
4.2 Hasil Pehitungan Perataan Jaring.....	29
4.3 Hasil Optimasi Desain Jaring.....	30
4.4 Hasil Pengolahan Foto Udara	31
4.5 Perhitungan Ketelitian Skala Foto Udara	33
4.6 Analisis Keterkaitan Optimasi Desain Jaring Dengan Skala Foto Udara	34
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Simpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN A.....	41
LAMPIRAN B	48
LAMPIRAN C	53
LAMPIRAN D.....	68
LAMPIRAN E	72
LAMPIRAN F	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1 Titik <i>Ground Control Point</i>	5
2 Sistem Penentuan Posisi Global, GPS	6
3 Dua Kasus Geometri Suatu Vektor <i>Baseline</i> (Lepas dan Terikat).....	9
4 Beberapa Parameter dari Geometri Jaringan	12
5 Lokasi Penelitian.....	18
6 Alur Penelitian	20
7 Pembuatan Desain 1	21
8 Pengumpulan Data	22
9 Perhitungan Perataan Jaringan.....	23
10 <i>Script</i> Nilai SOF.....	24
11 Perhitungan Nilai SOF Desain 1	24
12 Pengolahan Foto Udara	25
13 Desain Jaringan 1	27
14 Desain Jaringan 2	28
15 Desain Jaringan 3	28
16 Desain Jaringan 4.....	29
17 Grafik Optimasi Desain Jaringan.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1 Ketelitian Geometri Peta RBI	17
2 Matriks Variansi-Kovariansi Pada Desain 1	23
3 Perhitungan Nilai CE90 Pada Desain 1	26
4 Nilai Variansi-Kovariansi Jaring Sebelum dan Setelah Pengukuran	29
5 Nilai <i>Strength of Figure</i> Pada Setiap Desain	30
6 Nilai RMSE Pada Desain 1	31
7 Nilai RMSE Pada Desain 2	32
8 Nilai RMSE Pada Desain 3	32
9 Nilai RMSE Pada Desain 4	33
10 Nilai CE90 Pada Setiap Desain	34
11 Ketelitian Skala Peta (Peraturan Kepala BIG No.6 Tahun 2018).....	34

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Pada era teknologi yang berkembang pesat saat ini, berbagai metode survey pemetaan telah banyak digunakan dan dikembangkan. Salah satunya adalah pemetaan foto udara dengan memanfaatkan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). UAV adalah sebuah wahana terbang tanpa awak yang penerbangannya dikendalikan secara personal oleh komputer dengan menggunakan pengendali jarak jauh (Rivai dan Hanafi, 2021). UAV dapat menyajikan data spasial dengan resolusi tinggi dalam bentuk foto dan memiliki kelebihan daripada pemetaan lainnya, yaitu sederhana, murah, dan dapat dibawa pindah-pindah (Pamungkasari dkk., 2019).

UAV yang beredar saat ini, sebagian besar telah dilengkapi dengan teknologi GNSS (*Global Navigation Sattelite System*) komersil sehingga foto yang dihasilkan terdapat kesalahan sampai dengan satu meter. Untuk menghasilkan kualitas ketelitian foto udara yang baik harus memenuhi spesifikasi ketelitian geometrik. Kesalahan pada saat pengukuran perlu dikurangi sampai ke ketelitian sub-meter. Suatu foto udara menghasilkan skala yang besar sehingga membutuhkan ketelitian geometrik yang tinggi. Dengan begitu koreksi geometrik perlu dilakukan untuk mengurangi kesalahan pada saat pengukuran. Dalam melakukan koreksi geometrik dibutuhkan *Ground Control Point* (GCP). GCP merupakan titik bantu di lapangan yang bertujuan untuk mengkoreksi suatu citra dalam mengurangi kesalahan dan menghasilkan produk tingkat akurasi yang tinggi sesuai dengan spesifikasi pemetaan.

Pada penelitian ini, pembuatan desain jaring pengukuran dilakukan di awal bersamaan dengan penentuan persebaran titik-titik GCP. Untuk menghasilkan akurasi titik GCP yang baik, dibutuhkan pengukuran dengan menggunakan metode jaring. Desain geometri jaringan berguna untuk merencanakan tingkat

akurasi yang ingin dicapai sebelum melakukan pengukuran., selain itu desain geometri jaringan yang berkualitas juga dapat mengeliminasi kesalahan. Secara teori semakin banyak jumlah *baseline* dalam suatu jaring maka ketelitian posisi yang dihasilkan akan semakin baik (Cahyadi, 2006)

Kualitas ketelitian foto udara yang baik apabila memiliki tingkat akurasi tinggi yang dapat dihasil dari proses koreksi foto dengan GCP yang teliti. Untuk menghasilkan akurasi titik GCP yang baik, dibutuhkan pengukuran GCP yang teliti. Dalam koreksi foto udara banyak variabel yang mempengaruhinya, sehingga apakah usaha untuk meningkatkan ketelitian GCP melalui desain jaringan cukup signifikan mempengaruhi ketelitian peta foto udara. Maka dari itu perlu dianalisis sejauh mana pengaruh kualitas jaring terhadap peningkatan kualitas ketelitian skala peta foto.

Metode yang digunakan dalam optimasi desain jaring dengan empat model desain jaringan menggunakan pendekatan kuadrat terkecil dengan hitung perataan parameter. Analisis yang dilakukan berdasarkan dengan variasi model jaring. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan apakah perlu menggunakan desain jaring yang baik untuk penentuan GCP.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain jaring *Ground Control Point* (GCP) yang optimum.
2. Analisis ketelitian skala peta foto berdasarkan variasi jaring GCP.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui optimasi desain jaring untuk pengukuran *Ground Control Point* pada Kawasan Konversasi Hutan Mangrove, Pesawaran.
2. Mengetahui pengaruh optimasi desain jaring untuk pengukuran GCP terhadap ketelitian skala foto udara.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove, Pesawaran.
2. Pada penelitian ini penentuan titik GCP dan desain jaring untuk pengukuran GCP dilakukan di awal sebelum pengukuran titik GCP dan pemotretan foto udara.
3. Data yang digunakan adalah data pengamatan langsung yang dilakukan di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove, Pesawaran menggunakan survei GNSS dengan lama pengamatan selama 2 jam pada setiap titik GCP dan pemotretan foto udara menggunakan *fix wing* dengan ketinggian terbang di atas 300 meter.
4. Resolusi spasial pada foto udara adalah sebesar 3,78 cm.
5. Pada daerah penelitian merupakan daerah datar dengan kemiringan lereng di bawah 5 persen dengan luasan sebesar 2,76 km².
6. Perataan jaring dilakukan dengan menggunakan prinsip kuadrat terkecil metode hitung perataan parameter.
7. Pembentukan *orthophoto* dilakukan secara digital.
8. Ketelitian skala foto diujikan melalui nilai CE90 (Skala horizontal) berdasarkan Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 yang diperbarui dalam Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018.
9. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketelitian horizontal skala hasil rektifikasi foto udara terhadap variasi desain jaring yang optimal.

1.5 Hipotesis

Hipotesa awal pada penelitian ini adalah semakin baik kualitas desain jaring, maka akan menghasilkan skala peta yang lebih baik

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Koreksi Geometrik

Geometrik merupakan suatu posisi geografis yang berkaitan dengan distribusi keruangan (Lukiawan dkk., 2019). Geometrik berisi informasi data yang merujuk ke bumi (*georeferenced data*) baik posisi, lintang dan bujur serta informasi yang ada di dalamnya. Koreksi geometrik merupakan suatu transformasi citra berdasarkan hasil penginderaan jauh sehingga citra mempunyai sifat-sifat peta. Penempatan kembali posisi *pixel* dengan sedemikian rupa merupakan transformasi geometrik dasar, sehingga pada citra yang telah ditransformasi dapat dilihat gambaran objek di permukaan bumi yang telah terekam sensor. Terdapat dua kesalahan geometrik, yaitu:

- a. Kesalahan sistematis, merupakan kesalahan yang dapat diperkirakan sebelumnya, yang meliputi *distorsi panoramic*, kecepatan wahana, rotasi bumi, dan perspektif geometrik.
- b. Kesalahan non sistematis, merupakan kesalahan yang tidak dapat diperkirakan sebelumnya. Kesalahan non sistematis dikoreksi dengan menggunakan rumus yang diturunkan dengan membuat model matematis atas sumber kesalahan (tidak perlu melakukan evaluasi pada masing-masing sumber kesalahan, tetapi berusaha mengeliminasi total kesalahan geometrik secara manual).

Transformasi koordinat bertujuan untuk menyamakan sistem koordinat citra dengan sistem koordinat pada peta acuan yang sesuai dengan daerah liputan. Dalam melakukan koreksi geometrik dibutuhkan *Ground Control Point* (GCP) untuk menghasilkan ketelitian geometrik yang tinggi.

2.2 *Ground Control Point (GCP)*

Ground Control Point (GCP) atau titik kontrol tanah adalah proses penandaan suatu lokasi yang memiliki koordinat berupa sejumlah titik yang dibutuhkan untuk kegiatan mengkoreksi data dan memperbaiki keseluruhan citra yang akhirnya disebut sebagai proses rektifikasi. Tingkat akurasi GCP bergantung pada pengukuran GNSS yang dilakukan dan jumlah sampel GCP terhadap lokasi dan waktu pengambilan. Lokasi ideal adalah persimpangan jalan, penyebrangan pejalan kaki, sudut jalan, tempat dengan rona yang menonjol, persimpangan jalan kereta api dan objek/monumen/bangunan yang mudah dikenali. Hindari pohon, bangunan, dan tiang listrik selain sulit diketahui, karena kesamaan yang tinggi (Hasyim, 2009). Terdapat beberapa penerapan pengukuran titik kontrol tanah, antara lain koreksi geometrik pada foto udara, citra satelit resolusi tinggi dan LiDAR. Masing-masing memiliki spesifikasi dalam hal pengukuran GCP, khususnya untuk lama pengamatan minimum dan ketelitian yang dihasilkan. Berdasarkan Kerangka Acuan Kerja (KAK) yang diterbitkan BIG pada tahun 2017, untuk pekerjaan foto udara dilakukan pengamatan GNSS selama 60 menit untuk jarak *baseline* < 20 km.

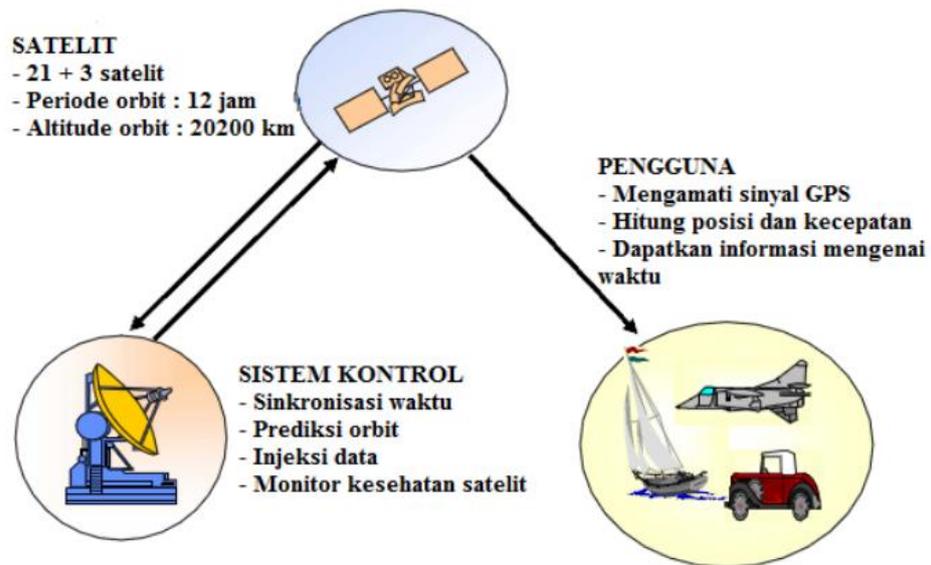


Gambar 1 Titik *Ground Control Point*

2.3 Global Navigation Satellite System (GNSS)

Global Navigation Satellite System adalah suatu sistem satelit yang menyediakan informasi lokasi dan waktu serta memancarkan banyak sinar dalam berbagai frekuensi secara terus menerus yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi. GPS merupakan GNSS yang paling terkenal dan banyak digunakan saat ini.

GPS terdiri dari tiga segmen utama, yaitu segmen luar angkasa yang terdiri dari satelit GPS, segmen sistem control terdiri dari stasiun pemantauan dan kendali satelit, dan segmen pengguna yang terdiri dari pemakai GPS termasuk alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS.



Gambar 2 Sistem Penentuan Posisi Global, GPS (Abidin, 2007)

Dalam penentuan posisi, dapat menggunakan metode-metode yang ada. Metode yang dapat digunakan antara lain, metode penentuan posisi *differensial*, statik, dan kinematik.

Dalam pemrosesan data GNSS, pengolahan data dimaksudkan untuk menghitung koordinat dari titik-titik pada suatu jaringan berdasarkan data pengamatan fase sinyal GNSS yang diamati di titik tersebut. Pengolahan data GNSS ada dua jenis perangkat lunak (*software*) yang dapat digunakan, pertama

adalah perangkat lunak komersil yang dikeluarkan oleh perusahaan *receiver* seperti *Topcon Tools*, *Trimble Geomatics Office* (TGO), dan *Leica Geo Office* (LGO). Kedua adalah *software* ilmiah yang dikeluarkan oleh lembaga peneliti seperti BERNESE oleh *University of Bern*, GAMIT oleh MIT, GEODYN oleh NASA, RTKLIB dan sebagainya.

Dalam perjalanan dari satelit ke antena di darat, sinyal GNSS mengalami beberapa kesalahan dan distorsi, yaitu (Abidin dkk, 2011)

- a. Kesalahan *Ephemeris* (Orbit)
- b. Bias Ionosfer
- c. Bias Troposfer
- d. *Multipath*
- e. *Cycle Clips*

Untuk menghasilkan akurasi pengukuran yang baik, dibutuhkan pengukuran dengan menggunakan metode jaring. Desain geometri jaringan berguna untuk merencanakan tingkat ketelitian yang diperoleh sebelum kegiatan pengukuran dilakukan.

2.4 Optimasi Desain Jaring Pengamatan

Tujuan dari desain jaring yang optimal ialah menghasilkan konfigurasi jaring dan rencana pengamatan yang optimal dimana konfigurasi jaring dapat memenuhi kualitas yang sudah ditentukan dengan usaha yang minimal (Kuang, 1996).

Proses tadi memiliki hal yang kompleks pada penyelesaiannya. Hampir tidak memungkinkan untuk menuntaskan seluruh aspek optimasi jaring dengan sebuah fungsi matematis. Sebab itu, optimasi dibagi kedalam beberapa kelompok dimana beberapa proses penyelesaian bisa dilakukan. Kategori tersebut yaitu (Kuang, 1996):

- a. *Zero Order Design* (ZOD), dilakukan dengan cara memilih datum yang optimal.

- b. *First Order Design* (FOD), dilakukan dengan memilih lokasi pengamatan atau konfigurasi titik.
- c. *Second Order Design* (SOD), menggunakan kualitas yang telah ditentukan untuk memilih pengamatannya.
- d. *Third Order Design* (THOD), memilih bagaimana meningkatkan jaring yang sudah ada.

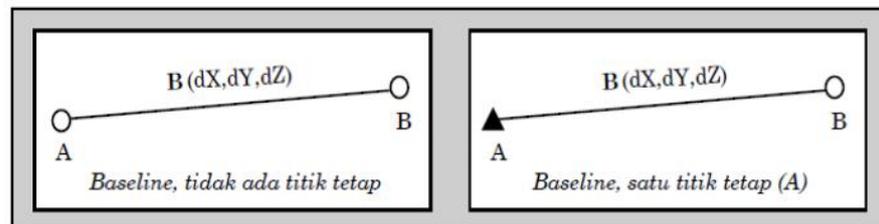
Dua metode dasar yang cocok untuk menyelesaikan proses perhitungan yang berkaitan dengan kategori di atas adalah metode *Trial and Error* dan metode analisis (Kuang, 1996). Metode *trial and error* melibatkan pembuatan jaringan dan penghitungan kualitasnya. Jika kriteria tidak terpenuhi, jaringan baru dibuat dan kualitasnya dihitung ulang. Proses ini diulangi hingga tercipta jaringan yang dapat memberikan nilai mendekati kriteria. Metode analisis menyampaikan serangkaian fungsi tujuan yang dapat memberikan penjelasan mengenai keakuratan, keandalan, dan nilai biaya. Fungsi tujuan ini harus dipenuhi selama proses optimasi desain jaringan.

2.5 Analisis Kualitas Desain Jaring

Analisis kualitas jaring dilakukan dengan menggunakan prinsip kuadrat terkecil dimana dimaksudkan untuk menyatakan nilai yang paling memungkinkan untuk kuantitas yang diperoleh dari pengamatan berulang dengan bobot yang sama dengan nilai yang membuat jumlah kuadrat kesalahan minimum (Sidharta, 2018). Dalam hitung perataan terdapat dua metode fungsional, yaitu hitung perataan bersyarat dan hitung perataan parameter. Dalam menerapkan kedua metode tersebut, pengukuran yang dilakukan harus memiliki ukuran lebih agar didapatkan kontrol terhadap hasil pengukuran. Ukuran lebih biasa dikenal dengan istilah *redundancy* dari pengukuran.

2.5.1. Konsep Hitung Perataan

Pada setiap pengukuran, data yang diperoleh akan selalu terdapat kesalahan. Salah satu cara untuk menghilangkan kesalahan tersebut adalah dengan melakukan hitung perataan. Konsep dari perataan adalah dengan meminimalkan jumlah kuadrat dari besar kesalahan yang biasa dikenal dengan prinsip kuadrat terkecil atau *least squares*. Bila menggunakan metode fungsional, pengukuran yang dilakukan harus memiliki ukuran berlebih agar dapat mengontrol hasil pengukuran. Ukuran tambahan ini disebut redundansi pengukuran (r).



Gambar 3 Dua Kasus Geometri Suatu Vektor *Baseline* (Lepas dan Terikat) (Abidin dan Mugiarto, 2000)

Pada perhitungan kuadrat terkecil metode parameter, persamaan suatu pengamatan vektor *baseline* lepas dapat dituliskan ke dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$V + B = X_B - X_A \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

- V : vektor residual atau vektor koreksi terhadap vektor *baseline*.
- B : data ukuran vektor *baseline* yang merupakan hasil dari perhitungan *baseline*.
- X_A dan X_B : vektor posisi

Dalam formulasi matriks, persamaan di atas dapat diuraikan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\begin{matrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{matrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_{AB} \\ dY_{AB} \\ dZ_{AB} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2$$

Jika mengacu pada formulasi yang umum digunakan persamaan pengukuran dari hitung perataan parameter:

$$V = AX - L \dots\dots\dots 3$$

Keterangan:

A : matriks desain

X : vektor parameter

L : vektor pengamatan

Sedangkan untuk matriks desain A untuk suatu *baseline* lepas adalah:

$$A = [-I \quad I] \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 4$$

I adalah matriks identitas dan vektor-vektor pengamatannya adalah

$$X = [X_A Y_A Z_A X_B Y_B Z_B]^T \dots\dots\dots 5$$

$$L = [dX_{AB} dY_{AB} dZ_{AB}]^T \dots\dots\dots 6$$

Pada vektor *baseline* terikat dimana salah satu titik ujungnya merupakan titik kontrol sehingga persamaan pengamatannya menjadi seperti berikut.

$$\begin{matrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_A + dX_{AB} \\ Y_A + dY_{AB} \\ Z_A + dZ_{AB} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 7$$

Jika mengacu pada persamaan (4), maka

$$A = I \dots\dots\dots 8$$

$$X = [X_B Y_B Z_B]^T \dots\dots\dots 9$$

$$L = [X_A + dX_{AB}, Y_A + dY_{AB}, Z_A + dZ_{AB}]^T \dots\dots\dots 10$$

Selanjutnya, solusi kuadrat terkecil untuk koordinat titik-titik dalam jaring adalah

$$X = (A^T P_L A)^{-1} A^T P_L L \dots\dots\dots 11$$

Dimana P_L adalah matriks bobot dari pengamatan yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P_L = Q_L^{-1} = \sigma_0^2 C_L^{-1} \dots\dots\dots 12$$

Q_L adalah matriks kofaktor dan σ_0^2 adalah faktor variansi apriori (biasanya bernilai = 1). C_L adalah matriks variansi-kovariansi pengamatan. Mengacu pada Model II Gauss-Markov, nilai C_L dapat dihitung berdasarkan spesifikasi alat yang digunakan dengan menggunakan rumus (Kuang, 1996).

$$\sigma_0^2 = a^2 + b^2 s^2 \dots\dots\dots 13$$

Nilai a dan b merupakan konstanta spesifikasi yang tertera pada alat. Misal pada alat tertera 2,5 mm + 0,5 ppm, maka a = 2,5 mm dan b = 0,5 ppm. s adalah jarak antar titik.

Untuk menghitung nilai matriks variansi-kovariansi dalam jaring dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$C_x = \sigma_0^2 (A^T P_L A)^{-1} \dots\dots\dots 14$$

dimana σ_0^2 adalah faktor variansi aposteriori yang dapat dihitung dengan

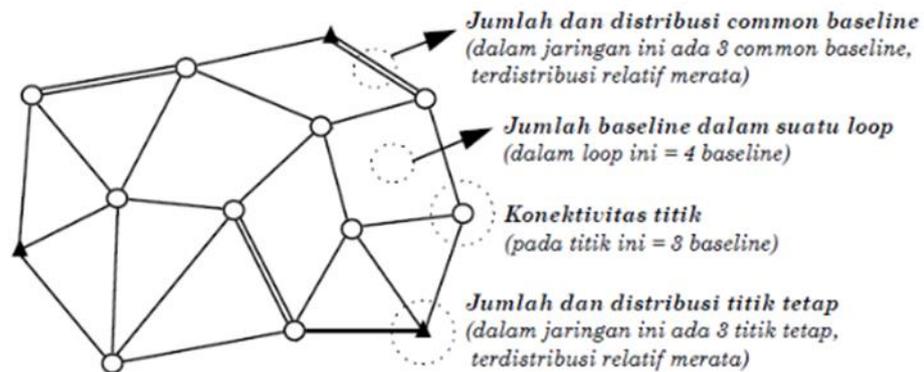
$$\sigma_0^2 = \frac{v^T P_L v}{n-u} \dots\dots\dots 15$$

Dengan n dan u adalah jumlah pengamatan data dan jumlah parameter yang diestimasi.

2.5.2. Perhitungan Geometri Jaring

Pada survei GNSS terdapat dua metode geometri jaring yaitu, jaring radial dan jaring tertutup. Metode jaring radial menempatkan penerima pada suatu titik tetap dan mengukur garis dasar dari titik tetap tersebut ke penerima lain pada titik desain. Ciri khusus jaringan GNSS adalah perlunya titik sambungan mengacu pada koordinat hasil pengukuran pada sistem koordinat titik sambungan tersebut. Titik koneksi ini dapat bertindak sebagai titik kendali. Titik-titik dalam jaringan dihubungkan oleh garis dasar yang dirancang sesuai dengan desain jaringan.

Geometri suatu jaringan ditentukan oleh beberapa parameter, seperti jumlah dan letak titik-titik dalam jaringan, jumlah dan sebaran titik-titik tetap, jumlah *baseline* dan distribusi *common baseline* (*baseline trivial*), konfigurasi *baseline* dan *loop*, serta konektivitas titik dalam jaring (Abidin, 2007).



Gambar 4 Beberapa Parameter dari Geometri Jaring (Abidin, 2007)

Kekuatan geometri jaring bergantung pada sifat parameternya. Geometri jaringan dapat dirancang dengan berbagai cara, tergantung pada parameter yang digunakan. Salah satu cara untuk menentukan konfigurasi jaringan yang sesuai adalah berdasarkan persamaan (14) yang mendeskripsikan tingkat akurasi setiap titik dalam jaringan. Dengan asumsi koefisien varians posterior sama dengan satu dan ketelitian vektor *baseline* dan vektor koordinat yang homogen dan *independent* antar komponennya, maka prediksi kekuatan jaringan dapat dirumuskan sebagai berikut. (Abidin dan Mugiarto, 2000)

$$SOF = \frac{\text{trace}(A^T A)^{-1}}{\text{jumlah parameter}} \dots\dots\dots 16$$

Dari persamaan di atas, semakin kecil nilai *Strength of Figure* (SOF) atau dikenal juga dengan Faktor Kekuatan Jaring maka akan menghasilkan konfigurasi jaring yang baik dan begitupun sebaliknya. Jika jaring yang dibentuk adalah jaring *triangulasi*, SOF dapat dihitung melalui persamaan (Anjasmara, 2005)

$$SOF = \frac{D-C}{D} [\sum(\delta A^2 + \delta A * \delta B + \delta B^2)] \dots\dots\dots 17$$

Keterangan:

- D : Total arah dalam jaring.
 C : Jumlah syarat sudut dan syarat sisi.
 δA dan δB : Nilai differensial

Dalam setiap *baseline* dapat memiliki satu ataupun dua arah. Hal ini berarti *baseline* tersebut diukur sebanyak dua kali. Nilai C adalah jumlah syarat sisi (C_s) dan syarat sudut (C_a) (Anjasmara, 2005).

$$C = C_a + C_s = (A - L + 1) + (N - 2S + 3) \dots\dots\dots 18$$

Keterangan:

- A : jumlah sisi yang diukur dua kali
 L : jumlah stasiun yang diukur dari dua arah
 N : jumlah pengukuran
 S : jumlah titik/stasiun

Sedangkan nilai D menunjukkan jumlah arah yang diamati pada pengukuran. Nilai D dapat dihitung melalui persamaan berikut

$$D = 2(A - 1) + \text{jumlah sisi yang diukur satu arah} \dots\dots 19$$

2.6 Foto Udara

Foto udara adalah gambar fotografi sebagian permukaan bumi yang diambil oleh pesawat udara dengan menggunakan kamera tertentu pada ketinggian tertentu. Foto udara dibedakan menjadi foto udara vertikal dan foto udara miring. Foto udara vertikal terjadi ketika sumbu kamera vertikal, atau dimiringkan sekitar 3 derajat, saat foto diambil. Foto udara miring adalah foto yang dibuat dengan sumbu kamera yang menyudut terhadap garis tegak lurus kearah permukaan bumi.

2.6.1 Geometri Foto Udara

Dalam fotogrametri, kualitas data yang mencatat unsur-unsur dan fenomena di permukaan bumi merupakan landasan terpenting untuk menghasilkan informasi yang benar dan akurat. Peta dibuat dengan merekonstruksi gambar udara yang diambil menjadi model permukaan 3D berdasarkan hubungan antara bentuk foto dan permukaan yang direkam.

2.6.2 Skala Foto Udara

Skala biasanya dinyatakan dalam satuan jarak pada gambar dibandingkan dengan satuan jarak sebenarnya di lapangan. Pengertian skala dalam foto atau peta adalah perbandingan selisih jarak antara titik-titik yang bersangkutan pada foto (peta) dengan titik-titik di permukaan tanah (dunia nyata) (Santoso, 2001). Dalam foto udara, hal ini disebut skala foto, yang mengacu pada skala rata-rata foto udara. Disebut demikian karena proyeksi foto udara bersifat perspektif, artinya titik utamanya berada pada fokus. Ukuran skala rata-rata ditentukan oleh ketinggian penerbangan, ketinggian permukaan tanah, dan ukuran titik fokus kamera. Ada dua jenis skala dalam fotografi udara, yaitu:

a. Skala rerata

Skala rata-rata jarang digunakan dengan cara yang sama untuk semua foto udara, karena setiap foto udara memiliki karakteristik unik berupa perubahan kemiringan, ketinggian, dan kontur permukaan.

b. Skala titik

Skala titik membandingkan jarak titik-titik di foto dengan jarak sebenarnya titik-titik di lapangan. Skala merupakan fungsi dari panjang fokus kamera yang digunakan untuk mengambil foto dan ketinggiannya di atas objek. Skala foto udara dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$S = \frac{f}{H} \dots\dots\dots 20$$

Keterangan:

S : skala

f : fokus kamera

H : tinggi terbang

2.6.3 Perencanaan Pemotretan

Fotografi udara adalah kegiatan memperoleh gambar perspektif permukaan bumi. Selama implementasi, kamera udara khusus yang memenuhi persyaratan foto udara digunakan dan dipasang di pesawat (Subiyanto, 2006). Dengan perencanaan yang matang, akan mendapatkan hasil terbaik dari foto udara. Tahapan foto udara terdiri dari tahap perencanaan, persiapan, pelaksanaan, dan tahap akhir. Selama tahap perencanaan, perlu dilakukan perhatian pada hal berikut.

1. Membuat rencana pelaksanaan kegiatan fotografi udara, termasuk alat dan bahan yang akan digunakan serta waktu yang diperlukan untuk kegiatan tersebut.
2. Siapkan rencana pelatihan sebelum memulai fotografi udara.
3. Kumpulkan peta untuk referensi saat merencanakan jalur penerbangan.
4. Rencanakan jalur penerbangan dan hitung waktu yang diperlukan untuk fotografi udara.
5. Merencanakan jalur terbang dan menghitung jumlah waktu yang digunakan dalam pemotretan foto udara.

2.6.4 Konsep Rektifikasi

Menurut Temiz dan Külür (2008), Rektifikasi dapat diartikan sebagai proses transformasi dari foto digital yang dilakukan untuk mendapatkan

gambar yang bebas distorsi. Dengan menggunakan GCP dan titik yang berkoresponden pada peta atau foto udara ter-ortorektifikasi dapat memperoleh parameter transformasi. Pendekatan yang digunakan untuk proses rektifikasi pada penelitian ini yaitu dengan metode rektifikasi diferensial yang juga dikenal dengan ortorektifikasi.

Ortorektifikasi merupakan suatu proses memposisikan kembali citra sesuai dengan lokasi sebenarnya yang disebabkan oleh pergeseran posisi yang terjadi pada saat peliputan data. Untuk menghasilkan ketelitian geometrik citra yang baik bergantung pada jumlah GCP yang ada pada perhitungan. GCP harus tersebar secara merata pada daerah pemetaan. Sebaran GCP ini bergantung pada desain jaring yang dibuat pada saat pengadaan GCP. Desain GCP yang ideal adalah dengan memperhitungkan faktor tersebarnya GCP secara merata pada cakupan areal pemetaan yang akan digunakan dalam proses ortorektifikasi citra (Amin, 2017).

2.7 Konsep Ketelitian Peta

Wolf dan Ghilani (2016) memberi definisi ketelitian jika ditinjau dari segi akurasi yaitu ketepatan nilai pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Ketepatan yang dimaksud adalah seberapa dekat nilai pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Nilai RMSE dipakai untuk mewakili ketelitian data pada penelitian ini, yaitu akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber independen yang akurasinya lebih tinggi (BIG, 2014). Dalam penelitian ini, toleransi untuk nilai ketelitian dibahas dalam standar dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS). Standar ketelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

Tabel 1 Ketelitian Geometri Peta RBI

Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
		Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
		Horizontal (CE90) (m)	Vertikal (LE90) (m)	Horizontal (CE90) (m)	Vertikal (LE90) (m)	Horizontal (CE90) (m)	Vertikal (LE90) (m)
1:1.000.000	400	300	200	600	300	900	400
1:500.000	200	150	100	300	150	450	200
1:250.000	100	75	50	150	75	225	100
1:100.000	40	30	20	60	30	90	40
1:50.000	20	15	10	30	15	45	20
1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
1:10.000	4	3	2	6	3	9	4
1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

(Sumber: Peraturan Kepala BIG Nomor 06 Tahun 2018)

Nilai CE90 dapat diperoleh dengan menggunakan rumus mengacu kepada standar US NMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) sebagai berikut:

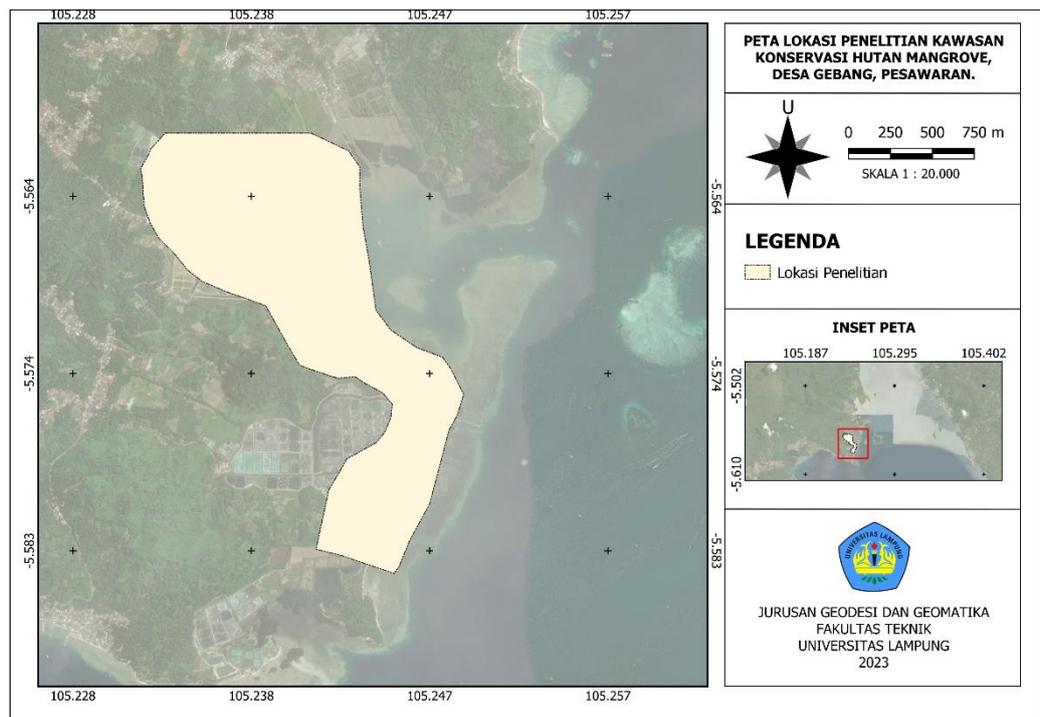
$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_r \dots\dots\dots 21$$

Dimana $RMSE_r$ adalah nilai RMSE pada posisi X dan Y (horizontal)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove, Desa Gebang, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.



Gambar 5 Lokasi Penelitian

3.2 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Berikut merupakan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini.

3.2.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- a. *Receiver Hi-Target V30*
- b. *Receiver Hi-Target V60*

3.2.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah

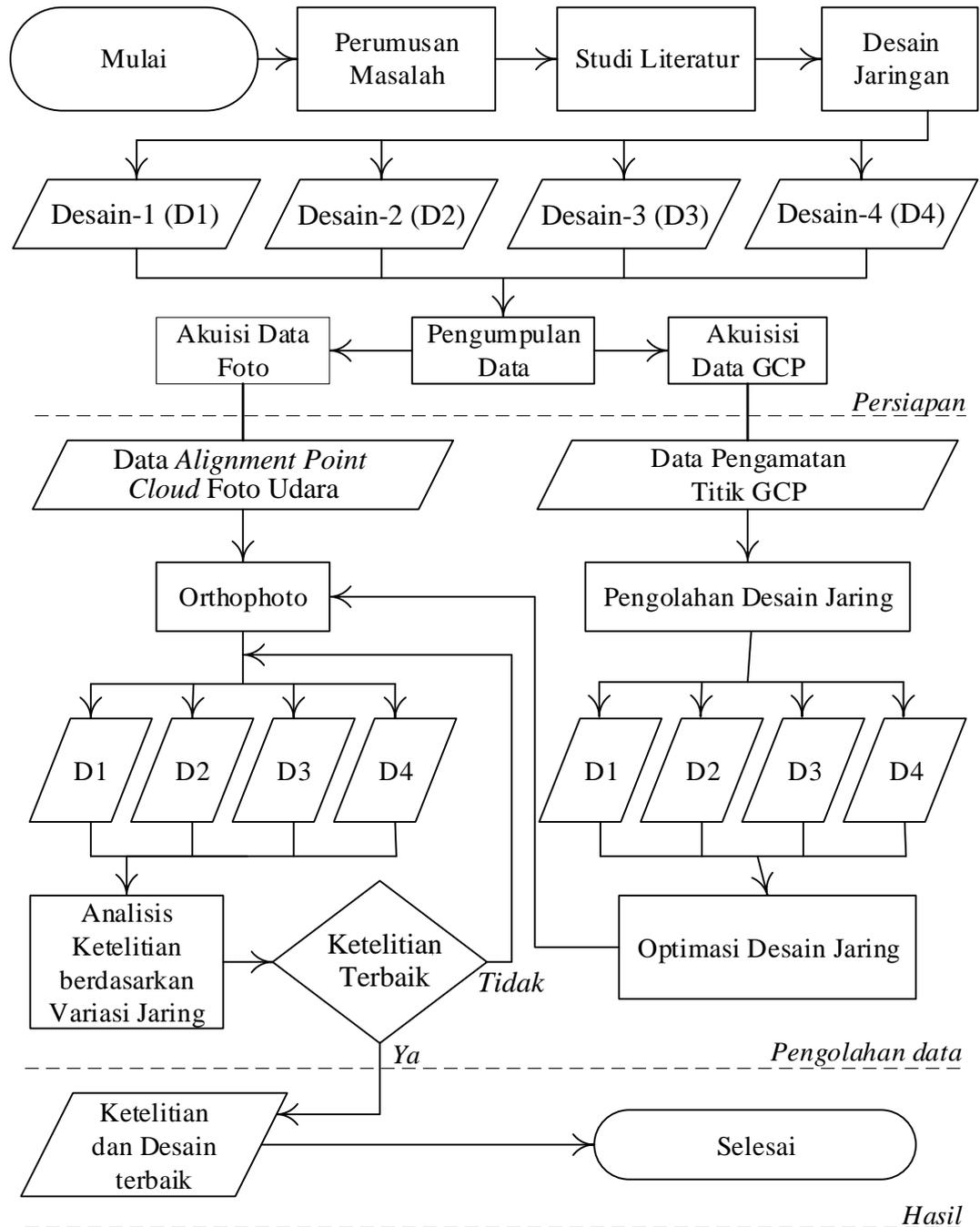
- a. *Hi-Target Geomatics Office (HGO)*
- b. *MATLAB R2020a*
- c. *Microsoft Excel*

3.3 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data pengukuran langsung lapangan yang dilakukan pada tanggal 08 Oktober sampai dengan 09 Oktober 2022. Pengukuran GCP diamati menggunakan metode jaring dimana setiap titik pengamatan dilakukan selama 2 jam. Pemotretan foto udara dilakukan menggunakan wahana terbang *Sky Walker* dengan ketinggian terbang rata-rata 345 meter. Pemotretan dilakukan satu kali dengan lama perekaman selama 26 menit.

3.4 Diagram Alir Penelitian

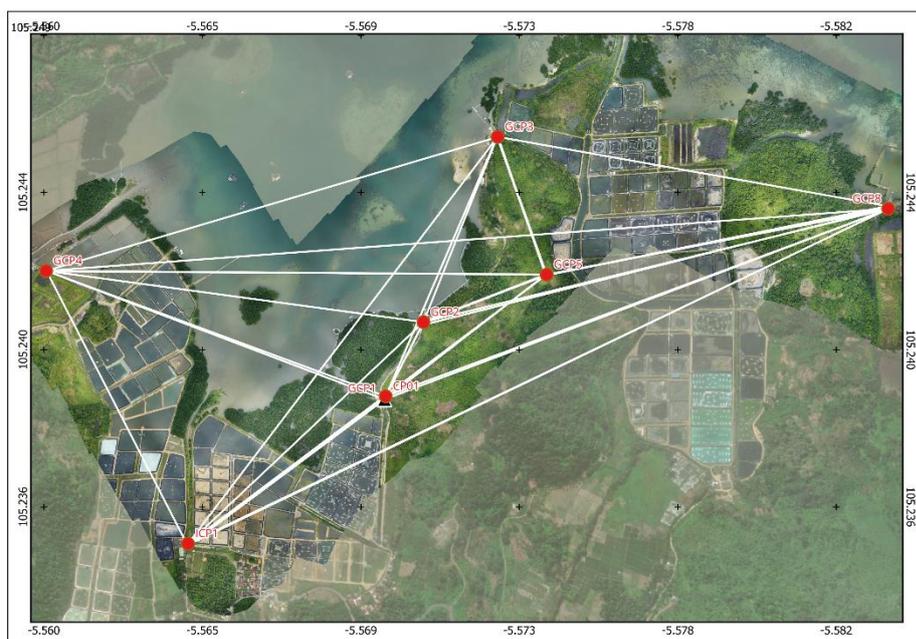
Tahapan pada penelitian ini meliputi tahap persiapan, tahap pengolahan, analisis data, dan tahap akhir. Berikut merupakan diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 6 Alur Penelitian

3.5 Tahapan Persiapan

Pada tahapan ini, penulis mengumpulkan mulai mengidentifikasi masalah dan merumuskan masalah yang ada sehingga dapat terlaksana penelitian. Selanjutnya penulis membaca dan memahami berbagai informasi serta literatur terkait dengan penelitian. Literatur yang diperoleh berasal dari jurnal penelitian, buku, serta artikel ilmiah yang memiliki penelitian sejenis dan relevan. Sebelum dilakukan pengambilan data, dibuat kerangka jaring terlebih dahulu. Desain jaring yang dibuat mewakili beberapa variasi yaitu jaring dengan persebaran titik yang cukup banyak dan desain jaring yang kompleks sampai dengan desain jaring yang memiliki sedikit persebaran titik dan desain jaring yang sederhana. Pada gambar 7 ditampilkan contoh desain jaring 1 yang telah dibentuk.



Gambar 7 Pembuatan Desain 1

Tahapan selanjutnya adalah pengumpulan data. Data yang digunakan adalah data foto udara dan data pengamatan titik GCP. Pengamatan titik GCP dilakukan dengan menggunakan teknologi GNSS metode jaring selama 2 jam di setiap titik GCP.

Pada foto udara menggunakan wahana terbang *Sky Walker* dengan tinggi terbang 345 meter dan lama terbang selama 26 menit. pada Gambar 8 ditampilkan beberapa dokumentasi pengumpulan data.



Gambar 8 Pengumpulan Data

Setelah semua data yang diperlukan terkumpul maka dapat dilakukan tahap selanjutnya, yaitu tahap pengolahan dan analisis.

3.6 Tahapan Pengolahan Data dan Analisis Hasil

Proses optimasi jaring dimulai dengan membentuk desain jaring maksimum dimana jaring memuat seluruh kemungkinan pengamatan dari titik-titik yang ada. Kemudian dilanjutkan dengan tahapan pengolahan foto udara.

3.6.1 Perhitungan Perataan Jaring

Setelah memperoleh data pengamatan selanjutnya dilakukan proses perhitungan perataan desain jaring. Perhitungan perataan jaring dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2020a. Tahapan ini merupakan tahapan awal dari proses optimasi desain jaring. *Script* perintah yang digunakan dalam tahapan pengolahan ini secara lengkap dapat dilihat pada lampiran. Pada Gambar 9 menampilkan perhitungan perataan jaring dengan bantuan perangkat lunak.

```

83 %proses perhitungan optimasi
84 %proses perhitungan optimasi
85 loopcnt=1;
86 Cx_D2(:, :, loopcnt)=Cx_D2_awal;
87 varians_D2(:, :, loopcnt)=variens_D2_awal;
88 st_dev_D2(:, :, loopcnt)=st_dev_D2_awal;
89 P_optimasi(:, :, loopcnt)=P_awal_all;
90 delta_F=zeros(all_baseline*3,1);
91 P_baru=diag(P_awal_all)+delta_F;
92 while max(varians_D2(:, :, loopcnt))>4
93     if max(st_dev_D2(:, :, loopcnt))>2
94         %turunan fungsi Cx terhadap pi
95         dCx_pi=Turunan_Cx_pi(all_baseline,matriks_A_D2,P_optimasi(:, :, loopcnt), turunan_Fp);
96
97         %membentuk model optimasi presisi (Kuang p221-227,248-249)
98         %membentuk matriks u
99         vec_matriks_kriteria=Cx(:); %vec matriks kriteria
100         Cx_D2_bantu=Cx_D2(:, :, loopcnt);
101         vec_Cx_awal=Cx_D2_bantu(:); %vec matriks presisi awal
102         matriks_u=vec_matriks_kriteria-vec_Cx_awal; %vec matriks kriteria - vec matriks presisi awal
103
104         %vec turunan Cx terhadap pi
105         for iterasi7=1:all_baseline*3 %proses iterasi27
106             vec_dCx_pi(:, :, iterasi7)=reshape(dCx_pi(:, :, iterasi7), [1,1]); %vec turunan Cx terhadap pi

```

Gambar 9 Perhitungan Perataan Jaring

Konsep hitung perataan yang digunakan pada tahapan ini sesuai dengan pembahasan pada 2.4.1 mengenai konsep hitung perataan. Pada penelitian ini menggunakan empat desain jaring, sehingga perhitungan dilakukan pada setiap desainnya dan menghasilkan nilai konfigurasi jaring yang baik. Berdasarkan persamaan (14), menghasilkan matriks variansi-kovariansi pada desain 1 yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Matriks Variansi-Kovariansi Pada Desain 1

$$C_x = \begin{bmatrix} \mathbf{1,6043} & 0,8023 & 0,8023 & 0,8022 & 0,8023 & 0,8023 & 0,8022 \\ & \mathbf{1,6030} & 0,8041 & 0,8020 & 0,8035 & 0,8047 & 0,8008 \\ & & \mathbf{1,6198} & 0,8020 & 0,8061 & 0,8102 & 0,7980 \\ & & & \mathbf{1,6500} & 0,7996 & 0,7939 & 0,8059 \\ & & & & \mathbf{1,6106} & 0,8100 & 0,7986 \\ & & & & & \mathbf{1,6866} & 0,7944 \\ & & & & & & \mathbf{1,6348} \end{bmatrix}$$

Untuk menghasilkan matriks di atas, dibutuhkan matriks desain, matriks pengamatan, dan matriks bobot yang dapat dilihat pada Lampiran C. Nilai variansi-kovariansi yang digunakan untuk melihat tingkat ketelitian suatu desain dihasilkan dari rata-rata nilai yang terdapat pada matriks variansi-kovariansi. Konfigurasi jaring yang baik dapat dilihat dari nilai variansi-kovariansi dan nilai *Strength of Figure*.

3.6.2 Perhitungan Nilai *Strength of Figure* (SOF)

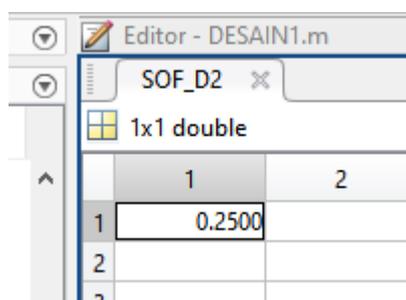
Tahapan selanjutnya dalam mengoptimasi suatu desain jaring yaitu dengan mengetahui nilai kekuatan jaring yang baik. Salah satu caranya adalah dengan menghitung nilai *Strength of Figure* (SOF). Semakin kecil nilai yang dihasilkan maka akan semakin baik pula kekuatan jaringnya. Pada penelitian ini terdapat empat desain jaring. Desain jaring yang menghasilkan nilai paling kecil diasumsikan sebagai desain yang memiliki kekuatan jaring terbaik. Perhitungan nilai SOF menggunakan persamaan (16). Gambar 10 dan 11 menunjukkan *script* untuk mencari nilai SOF dan hasil dari perhitungan nilai SOF pada desain 1.

```

227
228 - SOF_D2=(sum(diag(inv(matriks_AT_D2*matriks_A_D2)))/(data_no_bm*3);
229

```

Gambar 10 *Script* Nilai SOF



The screenshot shows a MATLAB editor window titled 'Editor - DESAIN1.m'. A variable named 'SOF_D2' is displayed in the workspace, with a value of 0.2500. The workspace shows a 1x1 double array.

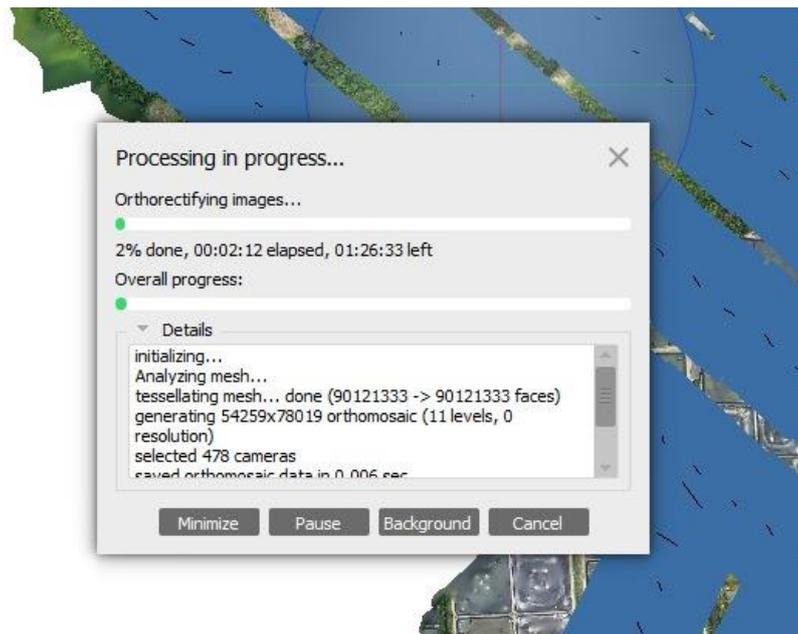
	1	2
1	0.2500	
2		
3		

Gambar 11 Perhitungan Nilai SOF Desain 1

3.6.3 Pengolahan Foto Udara

Setelah proses optimasi selesai, selanjutnya dilakukan pengolahan foto udara menggunakan koordinat masing-masing GCP pada setiap desainnya. Pengolahan foto udara dilakukan sampai menghasilkan *orthophoto*. Foto orto dibentuk menggunakan konsep foto perspektif dimana melalui proses rektifikasi differensial. Rektifikasi dilakukan untuk menghapus efek kemiringan sumbu dan menghasilkan ekuivalen

foto yang tegak. Proses *orthophoto* dilakukan secara digital menggunakan bantuan perangkat lunak *Agisoft Metashape* sehingga waktu yang diperlukan lebih cepat. Foto udara diolah berdasarkan dengan variasi jaringan. Tahapan pembentukan *orthophoto* dimulai dari pembentukan *point cloud* sampai dengan pembentukan *orthophoto*. Hasil akhir proses yang digunakan untuk analisis adalah informasi laporan dari proses pengolahan foto udara.



Gambar 12 Pengolahan Foto Udara

3.6.4 Perhitungan Skala dan Ketelitian Geometri Foto Udara

Dari pengolahan foto udara menghasilkan rata-rata tinggi terbang, panjang fokus kamera, dan nilai $RMSE_r$. Untuk menghitung skala foto udara dapat menggunakan persamaan (20). Selanjutnya dilakukan perhitungan ketelitian geometri foto udara dengan menggunakan standar ketelitian geometri peta dasar sesuai dengan Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018. Ketelitian dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (21). Dengan hasil ketelitian tersebut, maka foto udara yang telah diolah menggunakan empat desain jaring yang berbeda dapat

teridentifikasi kelas dan skala foto udaranya berdasarkan ketelitian geometri. Tabel 3 menunjukkan nilai CE90 pada desain jaring 1.

Tabel 3 Perhitungan Nilai CE90 Pada Desain 1

<i>Count</i>	<i>X Error</i> (cm)	<i>Y Error</i> (cm)	<i>Z Error</i> (m)	<i>XY Error</i> (m)	CE90
8	0,121306	0,11165	0,0406939	0,164866	0,250184

3.6.5 Analisis Hasil

Selanjutnya melakukan analisis terhadap hasil dari pengolahan data. Analisis dilakukan dengan menggunakan hasil nilai ketelitian yang didapatkan pada proses pengolahan data dengan mendeskripsikan dan membandingkan hasil yang diperoleh. Analisis dilakukan berdasarkan dengan variasi jaring. Pada penelitian ini terdapat empat desain jaring yang telah dihitung nilai optimasi pada masing-masing desain jaring. Dari hasil optimasi desain jaring tersebut dilakukan pengolahan foto udara pada setiap desain dan dilakukan uji ketelitian skala peta foto menggunakan CE90. Hasil tersebut akan dilihat dan dianalisis ada atau tidak keterkaitan antara variasi desain jaringan dengan ketelitian skala peta foto.

3.7 Tahapan Akhir

Tahapan akhir dari kegiatan ini adalah pembuatan laporan akhir dari hasil yang telah diperoleh. Pembuatan laporan dilakukan sesuai dengan panduan penulisan karya ilmiah Universitas Lampung.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan empat desain jaring yang telah dibentuk, menghasilkan desain 1 sebagai desain yang paling optimum dengan nilai SOF dan nilai variansi-kovariansi paling kecil, yaitu sebesar 0,25 dan 1,6298. Hal ini dapat disimpulkan bahwa desain dengan persebaran titik GCP paling banyak dan desain jaring yang kompleks menghasilkan kualitas jaring yang baik.
- b. Dengan resolusi spasial sebesar 3,78 cm pada foto udara menghasilkan tingkat ketelitian skala peta sebesar 0,250184; 0,277924; 0,127105 dan 0,302074 pada setiap desain yang diuji berdasarkan CE90 dan menghasilkan ketelitian skala peta yang sama, yaitu pada skala kelas 1 untuk skala 1:1.000.
- c. Upaya optimasi desain jaring yang optimal untuk menghasilkan rancangan sebaran GCP yang teliti tidak terlalu berpengaruh secara signifikan dalam menghasilkan ketelitian skala peta foto udara yang lebih baik. Penggunaan desain jaring optimal maupun yang tidak optimal tetap menghasilkan ketelitian skala peta yang sama.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pada pengukuran GCP untuk pemotretan foto udara cukup dilakukan dengan menggunakan desain jaring yang sederhana dengan persebaran titik GCP yang merata pada area pemotretan karena menggunakan desain jaring

yang lebih optimal atau kompleks tidak terlalu berpengaruh dalam meningkatkan ketelitian skala peta.

2. Pada penelitian ini, pemotretan foto udara dilakukan setelah adanya titik GCP pada daerah penelitian. Dengan begitu perlu adanya penelitian secara lanjut apabila pengadaan titik GCP dilakukan setelah proses pemotretan foto udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., Jones, A., dan Kahar, J. 2011. *Survei Dengan GPS*. ITB.
- Abidin Hasanuddin Z., dan Mugiarto Fajar T. 2000. Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey Gps. *Jurnal Surveying Dan Geodesi*, X(1). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21707.69923>
- Al Amin, A. R. 2017. Optimasi Sebaran Titik GCP Dan ICP Pada Proses Ortorektifikasi Citra Resolusi Tinggi Untuk Pembuatan Peta Skala 1:5.000. *Jurnal Teknik ITS*, 000, 96. <http://repository.its.ac.id/1887/>
- Anjasmara, I. M. 2005. *Hitung Kerangka Geodes*. nstitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BIG. 2014. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial. Jakarta.
- BIG. 2018. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial. Jakarta.
- Cahyadi, M. N. 2006. Analisis Kualitas Jaring Pada Pengamatan GPS. *Jurnal Teknik Geomatika-ITS*.
- Fajriyanto, Armijon, dan Rahmadi, E. 2012. Potensi Bahaya Gempa dan Analisis Regangan di Selat Sunda Berbasis GPS (Global Positioning System). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 16(3), 141–150.
- Hasyim, A. W. 2009. *Menentukan Titik Kontrol Tanah (GCP) dengan Menggunakan Teknik GPS dan Citra Satelit untuk Perencanaan Perkotaan*.
- Kuang, S. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concepts and Applications*. Ann Arbor Press .Inc.

- Lukiawan, R., Purwanto, E. H., dan Ayundyahrini, M. 2019. Analisis Pentingnya Standar Koreksi Geometrik Citra Satelit Resolusi Menengah Dan Kebutuhan Manfaat Bagi Pengguna. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 46–47. <https://doi.org/10.31153/js.v21i1.735>
- Pamungkasari, F. L., Prasetyo, Y., dan Sukmono, A. 2019. Analisis Konfigurasi Optimum Kerangka GCP Untuk Survei Pemetaan Luasan Besar Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 268–277.
- Rivai, W., dan Hanafi, F. 2021. Pemanfaatan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan GPS (Global Positioning System) untuk Analisis Tingkat Kerugian Material Penduduk pada Daerah Rawan Tanah Longsor. *Jurnal Geografi*, 18(2), 97–105. <https://doi.org/10.15294/jg.v18i2.30763>
- Sidharta, Y. A. 2018. *Analisis Dan Optimasi Desain Jaring Pengamatan Deformasi Di Kota Surabaya*.
- Temiz, M. H., dan Külür, S. 2008. Rectification Of Digital Close Range Images: Sensor Models, Geometric Image Transformations And Resampling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII(Part B5).
- Wolf, P.R. dan Ghilani, C. D. 2006. *Adjustment Computations*. Kanada: John Wiley Sons, Inc.