

**OPTIMASI DESAIN JARING PENGAMATAN GNSS DI
LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**AWFA RIZQON AKHYAR
NPM 1955013006**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**OPTIMASI DESAIN JARING PENGAMATAN GNSS DI
LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG**

Oleh

AWFA RIZQON AKHYAR

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
2026**

ABSTRAK

OPTIMASI DESAIN JARING PENGAMATAN GNSS DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG

Oleh

AWFA RIZQON AKHYAR

Universitas Lampung merupakan kampus yang memiliki gedung bertingkat serta ditumbuhi banyak pepohonan yang tinggi. Hal ini merupakan penghambat bagi pengguna GNSS yang membutuhkan sinyal satelit. Untuk itu diperlukan titik kontrol baru dengan kerangka jaring yang dapat menerima sinyal satelit dengan baik. Optimasi desain jaring merupakan metode untuk mendapatkan kerangka jaring titik kontrol yang optimal.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis desain jaring optimal untuk mendapatkan titik kontrol yang baik. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data pengamatan GNSS tahun 2024. Pengolahan dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab untuk pengolahan desain jaring, dan *software web* AUSPOS untuk pengolahan data GNSS.

Hasil dari penelitian ini berupa 4 desain jaring. Desain jaring 1 mendapatkan nilai rata-rata variansi 1,6015 dan SOF 0,25. Desain jaring 2 mendapatkan nilai rata-rata variansi 2,2578 dan SOF 0,4047. Desain jaring 3 mendapatkan nilai rata-rata variansi 4,4892 dan SOF 0,7908. Serta desain jaring 4 yang mendapatkan nilai rata-rata variansi 3,7759 dan SOF 0,6749. Dari keempat desain jaring tersebut, didapatkan bahwa desain jaring 4 adalah desain jaring optimal berdasarkan efektifitas dan efisiensi.

Kata kunci: Desain Jaring, GNSS, Matlab, Optimasi, Universitas Lampung

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF GNSS OBSERVATION NETWORK DESIGN IN THE UNIVERSITY OF LAMPUNG

By

AWFA RIZQON AKHYAR

The University of Lampung is a campus with multi-story buildings and numerous tall trees. This presents a barrier for GNSS users who require satellite signals. Therefore, new control points with a mesh framework that can effectively receive satellite signals are required. Mesh design optimization is a method for obtaining an optimal control point mesh framework. This research was conducted to analyze the optimal mesh design for obtaining reliable control points. The data used in this study were GNSS observations from 2024. The processing was carried out using Matlab software for mesh design processing and AUSPOS web software for GNSS data processing. The results of this study are in the form of 4 net designs. Net design 1 obtained an average variance value of 1.6015 and SOF of 0.25. Net design 2 obtained an average variance value of 2.2578 and SOF of 0.4047. Net design 3 obtained an average variance value of 4.4892 and SOF of 0.7908. And net design 4 obtained an average variance value of 3.7759 and SOF of 0.6749. Of the four net designs, it was found that net design 4 is the optimal net design based on effectiveness and efficiency.

Keywords: Network Design, GNSS, Matlab, Optimization, Universitas Lampung

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : OPTIMASI DESAIN JARING PENGAMATAN
GNSS DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS
LAMPUNG

Nama : Awfa Rizqon Akhyar

Nomor Pokok Mahasiswa : 1955013006

Program Studi : S1 Teknik Geodesi

Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika

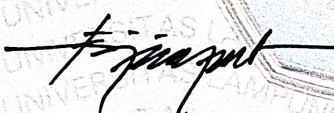
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

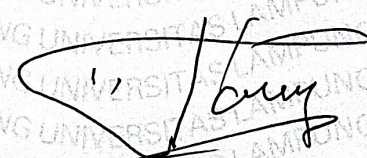
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.
NIP 19720302 200604 1 002


Eko Rahmadi, S.T., M.T.
NIP 19710210 200501 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

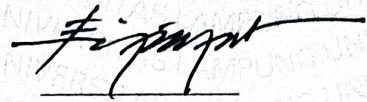

Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP 19641012 199203 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

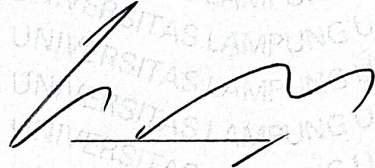
Ketua

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



Sekretaris

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



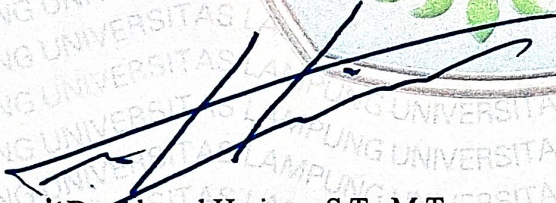
Penguji

Bukan Pembimbing

: Romi Fadly, S.T., M.Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 19691030 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Januari 2026



PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya Awfa Rizqon Akhyar, NPM 1955013006, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam skripsi yang berjudul “OPTIMASI DESAIN JARING PENGAMATAN GNSS DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG” adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Dosen Pembimbing kesatu yaitu Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. dan Dosen Pembimbing kedua yaitu Eko Rahmadi, 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.

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

Bandar Lampung, 20 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Awfa Rizqon Akhyar

NPM 1955013006

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Awfa Rizqon Akhyar, yang lahir di Lintau, Sumatera Barat pada tanggal 16 September 2001. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Gusri Akhyar Ibrahim dan (Alm) Desis Mailinda. Jenjang akademis penulis dimulai dengan menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK)

Aisyiyah Kawai pada tahun 2007. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 17 Kawai sampai tahun 2011 dan melanjutkannya di SDIT Muhammadiyah Gunung Terang sampai selesai di tahun 2012. Kemudian pada tahun 2016 penulis menyelesaikan sekolah menengah pertama di SMP Qur'an Darul Fattah dan melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Al-Kautsar yang lulus pada tahun 2019. Dan pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Lampung Sebagai mahasiswa jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik.

Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dalam organisasi kampus. Organisasi yang pernah diikuti penulis di antaranya adalah menjadi staff divisi BSO-BBQ Fossi-FT pada tahun 2019 dan Staff divisi MTQ-SI Birohmah Universitas Lampung. Kemudian pada tahun 2020, penulis melanjutkan organisasi menjadi staff ahli di Fossi-FT Unila di divisi Akademik dan Riset (AKRIS), kemudian pada tahun 2021 penulis melanjutkan organisasi di Fossi-FT sebagai Kepala Departemen BUM (Badan Usaha Mahasiswa) dan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Geodesi Unila sebagai staff divisi Media Informasi (MI).

Pada tahun 2022 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Beringin Raya, Kecamatan Kemiling dan menghasilkan sebuah Jurnal Buguh yang diterbitkan oleh Pusat KKN Universitas Lampung yang berjudul **“Sosialisasi Kesehatan dan Pentingnya Edukasi Pola Hidup Bersih dan Sehat (PHBS) Bagi Warga Kelurahan Beringin Raya”**. Dan pada tahun yang sama, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Badan Pertanahan Nasional Kota Bandar Lampung dan menghasilkan laporan yang berjudul **“Pengukuran Bidang Tanah Menggunakan GNSS Metode RTK dan Pembenahan Data K4 di Kota Bandar Lampung”**.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil alamin

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, meskipun masih terdapat banyak kekurangan didalamnya.

Saya persembahkan karya ini dengan tulus kepada:

Kedua orang tua kandung penulis, Gusri Akhyar Ibrahim dan (Alm) Desis Mailinda yang selalu memberikan doa, dukungan, serta kasih sayang yang tiada henti kepada penulis hingga saat ini, serta Umi Dewi Sartika yang selalu memberikan do'a dan dukungannya kepada penulis sehingga menjadi sumber kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Kakak dan adik kandung penulis, Hamimatun Niswah, Vilza Azzahra, dan Alya Khoirunnisa yang telah memberikan do'a dan dukungan selama ini, serta keluarga besar yang berada di Sumatera Barat yang juga telah memberikan dorongan, dukungan, serta do'anya yang luar biasa.

Teman-teman angkatan 2019 Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung yang selalu mengingatkan penulis, memberikan dukungan, kenangan, serta kekeluargaan.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah [2]: 286)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan yang telah Allah siapkan”

(Q.S Al-Insyirah [94]: 5)

“Rahmat sering datang kepada kita dalam bentuk kesakitan, kehilangan, dan kekecewaan, tetapi kalau kita sabar, kita segera akan melihat bentuk aslinya”

(Joseph Addison)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur *Alhamdulillah* penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya berupa kesehatan, kesempatan serta pengetahuan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “*Optimasi Desain Jaring Pengamatan GNSS di Lingkungan Universitas Lampung*” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Dalam proses penulisan dan penyusunan skripsi ini, tidak terlepas dari dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika;
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng., selaku Koordinator Skripsi Program Studi S1 Teknik Geodesi dan dosen penguji atas kesediaannya untuk memberikan saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., selaku Pembimbing 1 atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T., selaku Pembimbing 2 atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Ibu Rahmas Anisa, S.T., M. Eng., selaku Pembimbing Akademik;

7. Orang tua dan Saudara yang selalu mendoakan agar kegiatan perkuliahan penulis dilancarkan oleh Allah SWT serta memberikan dukungan moril dan juga dukungan materil;
8. 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 ini dari awal hingga akhir. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, besar harapan penulis untuk menerima tanggapan, saran dan kritik yang sifatnya membangun dan memotivasi. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya bagi mahasiswa, masyarakat dan instansi pemerintahan yang terkait.

Bandar Lampung, 20 Januari 2026

Awfa Rizqon Akhyar

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
OPTIMASI DESAIN JARING PENGAMATAN GNSS DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG	iii
ABSTRACT	iv
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Benchmark</i> (BM)	5
2.2 Citra Foto Udara	6
2.3 Optimasi Desain Jaring.....	9
2.4 Analisis Kualitas Desain Jaring	11
2.4.1 Hitung Perataan	11
2.4.2 <i>Strength of Figure</i> (SOF).....	15
2.5 <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS)	17
2.6 AUSPOS	18
2.7 TEQC.....	19

2.8 MATLAB	20
2.9 Agisoft Metashape	21
2.10 Penelitian Terdahulu	22
III. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	26
3.2.1 Perangkat Keras	26
3.2.2 Perangkat Lunak	26
3.3 Data.....	26
3.4 Diagram Alir	27
3.5 Tahap Persiapan.....	28
3.5.1 Studi Literatur.....	28
3.5.2 Pengumpulan Data.....	28
3.6 Tahap Pengolahan.....	32
3.6.1 Pengolahan Data Pengamatan	32
3.6.2 Pembuatan Desain Jaring.....	34
3.6.3 Perhitungan Kualitas Desain Jaring.....	36
3.7 Tahap Analisis	41
3.7.1 Analisis Kualitas Desain Jaring Optimal.....	41
3.7.2 Efektif dan Efisien	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Titik Koordinat Pengamatan.....	42
4.2 Desain Jaring	43
4.3 Analisis Desain Jaring	47
V. SIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Simpulan.....	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Bench Mark</i> (BM)	5
2. Foto Udara Normal dan Ortofoto	7
3. Dua buah Ortofoto.....	8
4. Hasil Ortomosaik dari Ortofoto pada gambar 3	9
5. Geometri pada Vektor <i>Baseline</i> (Lepas dan Terikat).....	12
6. Parameter dari Geometri Jaring	15
7. Sistem GNSS dari berbagai negara	18
8. Area Lingkup Penelitian	25
9. Diagram Alir Penelitian	27
10. Data Citra Foto Udara yang digunakan.....	28
11. Lokasi Titik BM.....	30
12. Pengukuran Tinggi Alat GNSS	31
13. Pengamatan GNSS	31
14. Pengolahan data secara <i>online</i> menggunakan AUSPOS.....	32
15. Desain Jaring 1	34
16. Desain Jaring 2	35
17. Desain Jaring 3	35
18. Desain Jaring 4	36
19. Tampilan Program Optimasi Desain Jaring pada Matlab	37
20. Penghitungan Jumlah Baseline	37
21. Penentuan Bobot Pengamatan	38
22. Pembuatan Matriks-Matriks.....	38
23. Proses Perhitungan Optimasi	38
24. Proses Perhitungan Optimasi	39
25. Pendefinisian Nilai Optimasi	39
26. Penurunan Cx Terhadap pi.....	39

27. Plot Desain Jaring	40
28. Plot Garis dan Titik	40
29. Nilai Kesalahan Horizontal Alat	40
30. Lokasi Penempatan Titik BM	42
31. Desain Jaring 1	44
32. Desain Jaring 2	45
33. Desain Jaring 3	46
34. Desain Jaring 4	47
35. Hasil Pengolahan Menggunakan Matlab	48
36. Diagram Nilai Rata-Rata Variansi Desain Jaring	49
G 37. Diagram Nilai SOF pada Desain Jaring	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu	22
2. Titik Koordinat BM.....	37
3. Titik Koordinat Pengamatan	43
4. Nilai Variansi-Kovariansi Desain Jaring 1 (m^2)	44
5. Nilai Variansi-Kovariansi Desain Jaring 2 (m^2)	45
6. Nilai Variansi-Kovariansi Desain Jaring 3 (m^2)	46
7. Nilai Variansi-Kovariansi Desain Jaring 4 (m^2)	47
8. Nilai Rata-Rata Variansi dan SOF	48

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Kualitas suatu pekerjaan pemetaan dapat dievaluasi dari kerangka dasarnya. Apabila kerangka dasar pemetaan disusun dengan baik, menunjukkan kualitas yang tinggi, maka kemungkinan besar peta yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang baik. Sebaliknya, jika kerangka dasarnya memiliki kualitas rendah, maka peta yang dihasilkan juga kemungkinan akan memiliki kualitas yang rendah (Wahyono dan Nugroho, 2014).

BM (*Bench Mark*) merupakan wujud dari kerangka dasar pemetaan. BM biasanya digunakan sebagai acuan atau titik awal dalam pengukuran. Dengan posisi dan ketinggian yang terdefinisi dengan baik, BM dapat menjadi titik referensi untuk menentukan posisi dan ketinggian titik-titik di sekitarnya (Ridwan dan Anhar, 2022). Titik acuan ini juga melibatkan parameter waktu, sehingga perlu didefinisikan nilai koordinatnya dalam interval waktu tertentu. Penentuan ulang nilai koordinat ini diperlukan karena terjadinya deformasi pada kerak bumi, yang merupakan perubahan elastis linier dalam bentuk dan ukuran kerak bumi akibat pergerakan dari lempeng tektonik atau lapisan litosfer (Andreas dkk., 2013).

Universitas Lampung merupakan kampus yang memiliki gedung bertingkat serta ditumbuhi banyak pepohonan yang besar dan tinggi. Hal-hal tersebut merupakan hambatan bagi pengguna GNSS. GNSS membutuhkan sinyal untuk dapat bekerja dengan baik. Jika area tersebut memiliki banyak pepohonan serta bangunan tinggi atau biasa disebut *multipath*, maka dapat mengakibatkan data hasil pengukuran yang bias terhadap posisi, jarak, bahkan kehilangan sinyal. Untuk peletakan BM yang baik, haruslah ditempatkan di area yang terbuka,

terhindar dari pepohonan besar serta gedung yang tinggi, sehingga dapat menghindari hal-hal yang menimbulkan kesalahan dalam pengukuran.

Citra foto udara merupakan citra/hasil pemotretan udara dengan ketinggian tertentu menggunakan *drone*, UAV, maupun pesawat terbang. Citra foto udara dapat melihat permukaan bumi dalam perspektif ketinggian tertentu, sehingga dapat melihat seluruh area Universitas Lampung dalam satu gambar. Dengan adanya foto udara, proses penentuan lokasi titik BM akan jauh lebih mudah, cepat, dan efisien.

Adam (2021) telah melakukan pembuatan titik BM di Universitas Lampung. Penelitian tersebut menggunakan GNSS Hi Target dengan metode *static* dengan *elevation mask* 15° dengan interval perekaman setiap 5 detik selama 24 jam pada *base* dan setiap 5 detik selama 45 menit pada *rover*. Dari pengukuran tersebut dihasilkan koordinat UTM serta ketelitian pengukuran masing-masing titik. Ketelitian yang dihasilkan cukup baik, akan tetapi terdapat ketelitian yang kurang baik pada beberapa titik. Serta karena perubahan lingkungan, titik yang cukup baik tersebut kualitasnya semakin menurun. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian ulang menggunakan metode yang berbeda yaitu dengan menghitung kualitas desain jaring sehingga mencapai kondisi yang optimal.

Metode yang digunakan dalam optimasi jaring adalah pendekatan analitis yang melibatkan perhitungan matematis untuk memastikan bahwa desain sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan. Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis optimasi desain jaring berdasarkan nilai kekuatan jaring atau biasa disebut *Strength of Figure* (SOF) pada BM yang berada di lingkungan Universitas Lampung.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana penentuan lokasi titik BM yang optimum di Universitas Lampung?
2. Bagaimana bentuk desain jaring yang digunakan untuk mendapatkan desain jaring optimal?
3. Bagaimana kualitas desain jaring yang digunakan?
4. Bagaimana analisis desain jaring untuk mendapatkan desain jaring optimal?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan tempat-tempat pemasangan titik BM yang paling optimum di area Universitas Lampung.
2. Mendapatkan desain jaring BM yang optimal.
3. Mendapatkan koordinat titik pada desain jaring yang optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan desain jaring BM yang optimal.
2. Meningkatkan kualitas data hasil pengukuran dengan BM yang baik.
3. Dapat dijadikan referensi untuk praktikum pemetaan di lingkungan Universitas Lampung.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di area lingkup Universitas Lampung.
2. Data yang digunakan merupakan data citra foto udara tahun 2022.
3. Pengolahan data citra foto udara menggunakan *software Agisoft Metashape Professional Versi 1.8.5*.
4. BM ditempatkan di lokasi-lokasi dengan dampak *multipath* minim serta memenuhi kaidah pengamatan GNSS.

1.6 Hipotesis

Desain jaring yang optimal ditandai dengan nilai *Strength of Figure* (SOF) yang rendah. Dengan SOF yang kecil, konfigurasi jaring yang dihasilkan juga baik karena seluruh jaring mendapatkan ketelitian yang merata.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Benchmark* (BM)

Bench Mark (BM) merupakan suatu titik tetap yang digunakan sebagai patokan atau titik acuan untuk mengukur ketinggian titik-titik lainnya dalam suatu sistem pemetaan atau geodesi. Biasanya, tinggi pada BM dianggap sebagai referensi atau nol dalam pengukuran ketinggian. BM juga merupakan stasiun kontrol geodesi yang direalisasikan dalam bentuk fisik di lapangan yang berbentuk tugu/pilar/monumen. BM ini memiliki parameter waktu yang perlu diperbarui, sehingga nilai koordinatnya perlu didefinisikan ulang dalam interval waktu tertentu. Kondisi ini disebabkan oleh terjadinya deformasi pada kerak bumi, yang mencakup perubahan elastis linier pada bentuk dan ukuran sebagai akibat dari pergerakan lempeng tektonik atau lapisan litosfer (Andreas dkk., 2013).



Gambar 1. *Bench Mark* (BM) (Upiani dkk., 2023)

2.2 Citra Foto Udara

Citra foto udara merupakan citra/hasil pemotretan udara dengan ketinggian tertentu menggunakan *drone*, UAV, pesawat terbang, balon udara serta wahana lainnya. Citra foto udara biasa digunakan untuk melihat gambaran dari sebagian permukaan bumi seperti mengambil objek, bentuk topografi, ataupun model permukaan bumi yang diambil dengan alat berupa kamera (Mabrur dkk., 2022).

Sebelum dapat diolah, citra foto udara harus melakukan proses rektifikasi. Yaitu citra foto udara dilakukan koreksi geometris, *georeferencing*, serta koreksi distorsi perspektif. Citra yang sudah dilakukan rektifikasi disebut ortofoto, ortofoto merupakan suatu reproduksi foto yang telah dikoreksi beberapa penyimpangannya, seperti kemiringan (*tilt*), pergeseran topografi, dan terkadang sampai pada distorsi lensa (contoh pada Gambar 2). Ortofoto dibuat dari pasangan-pasangan foto perspektif (biasanya foto udara) stereoskopis atau triplikat foto udara dengan suatu proses yang disebut rektifikasi diferensial sedemikian rupa sehingga setiap objek berada pada posisi horizontal yang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan (Natar dkk., 2020; Wahyono dan Suyudi, 2017; Hadi, 2007).

Pembuatan ortofoto digital dilakukan dengan menerapkan persamaan kolinear secara berulang pada setiap titik atau piksel dalam DEM. Setiap piksel pada DEM memiliki pasangan satu-ke-satu dengan piksel pada ortofoto. Pada awalnya, ortofoto berupa kanvas kosong yang kemudian diisi secara bertahap dengan nilai piksel. Dalam setiap tahap, koordinat X, Y, Z dari DEM digunakan sebagai input dalam persamaan kolinear. Hasil koordinat foto kemudian dikonversi menjadi posisi baris dan kolom pada citra udara digital. Selanjutnya dilakukan proses *resampling* untuk menentukan nilai piksel, yang ditempatkan pada posisi yang sesuai dalam ortofoto digital. Proses ini berakhir ketika seluruh piksel pada *file* ortofoto telah terisi nilai digital (Hidayat dan Cahyono, 2023).



Gambar 2. Foto Udara Normal dan Ortofoto (Dogget, 2020)

Kemudian kumpulan ortofoto tersebut dilakukan penggabungan menjadi sebuah citra yang menampilkan seluruh area pemotretan yang disebut ortomosaik. Ortomosaik juga disebut sebagai proses mosaik dari ortofoto yang dibuat dari kumpulan hasil foto udara yang memiliki titik koordinat geometris. Berikut proses ortomosaik menggunakan *software Agisoft* (Ikhwan dkk., 2021).

1. *Import photo* dan rekonstruksi jalur terbang

Tahap ini merupakan tahapan paling awal untuk *input* hasil foto udara yang akan dijadikan *orthophoto*. Pada tahap ini hasil foto udara yang telah *diinput* kemudian diseleksi dengan pendekatan posisi dan ketinggian foto udara.

2. *Align Photo*

Align photos dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik yang ada di masing-masing foto dan melakukan proses *matching* titik yang sama di dua atau lebih foto udara.

3. *Build dense point clouds*

Dense point clouds adalah kumpulan titik tinggi dalam jumlah ribuan hingga jutaan titik yang dihasilkan dari pemrosesan fotogrametri foto udara. Tahap ini merupakan tahap yang menghasilkan model tiga dimensi yang lebih detail dalam penggambaran objek sebenarnya.

4. *Build mesh*

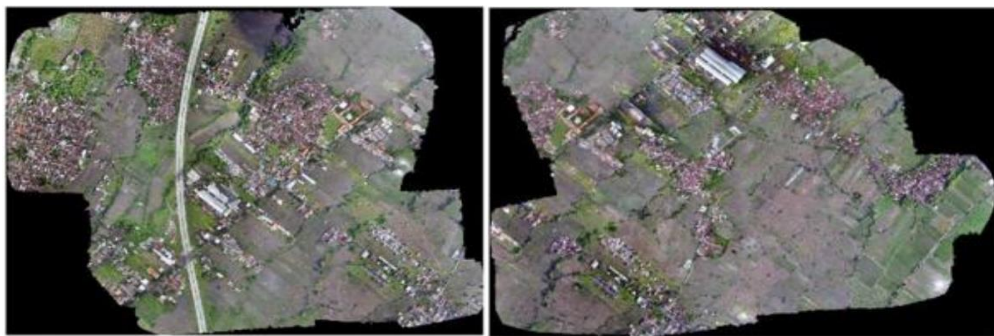
Tahap ini yaitu tahap pembentukan poligon pada permukaan objek yang terbentuk berdasarkan *dense point clouds*. Poligon tersebut akan membentuk segitiga yang saling terhubung sehingga terbentuk permukaan objek.

5. *Build texture*

Tahap ini merupakan pembentukan tekstur atau model fisik tiga dimensi dari objek yang ada di area perekaman foto.

6. *Export orthophoto*

Orthophoto merupakan hasil *export* dari model tiga dimensi yang sudah memiliki tekstur dan memperlihatkan kondisi lapang yang sebenarnya dan memiliki *format* (.tiff)



Gambar 3. Dua buah Ortofoto (Hapriansyah dan Hidayat, 2021)



Gambar 4. Hasil Ortomosaik dari Ortofoto pada gambar 3 (Hapriansyah dan Hidayat, 2021)

2.3 Optimasi Desain Jaring

Jaring merupakan sekumpulan titik-titik yang koordinatnya telah diketahui atau telah ditentukan, titik-titik tersebut saling terhubung membentuk *baseline* dan koordinatnya diperoleh melalui metode pengamatan tertentu dalam suatu sistem referensi koordinat. Sedangkan jaring GNSS merupakan kumpulan titik kontrol yang diukur menggunakan metode diferensial GNSS, sehingga titik-titik yang ditentukan posisinya satu sama lain saling terhubung membentuk *baseline*, dan koordinatnya ditentukan dengan metode pengolahan data GNSS (Widiyanto dkk., 2019; Widjajanti dkk., 2018).

Tujuan dari merancang jaringan yang optimal atau melakukan optimasi pada jaringan pada dasarnya adalah untuk menghasilkan konfigurasi jaringan dan rencana pengamatan yang terbaik, konfigurasi tersebut harus memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan dengan upaya minimal. Proses ini melibatkan penyelesaian masalah yang rumit, dan hampir tidak mungkin untuk menangani semua aspek optimasi jaringan dalam satu model matematis. Oleh karena itu, optimasi jaringan dibagi ke dalam beberapa kategori yang berbagai metode penyelesaiannya dapat diterapkan. Kategori-kategori tersebut adalah sebagai berikut (Kuang, 1991):

1. *Zero Order Design (ZOD)*, memilih sistem referensi/datum yang optimal

2. *First Order Design* (FOD), memilih lokasi titik pengamatan atau konfigurasi titik.
3. *Second Order Design* (SOD), memilih pengamatan yang digunakan dan dengan kualitas yang ditentukan.
4. *Third Order Design* (THOD), memilih bagaimana meningkatkan jaring yang sudah ada.

Dari keempat kategori yang telah disebutkan, ada tambahan kategori baru yang dapat disertakan, yaitu *Combined Design* (COMD). Kategori ini merupakan kombinasi dari *First Order Design* (FOD) dan *Second Order Design* (SOD), yang dapat diselesaikan secara berurutan. Dalam proses perhitungan mengacu pada kategori-kategori tersebut, terdapat dua metode dasar yang sesuai, yaitu metode *trial and error* dan metode analitis (Kuang, 1991).

Dalam metode *trial and error*, jaring dibuat dan kualitasnya dihitung. Jika tidak memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, maka dibentuk jaring baru dan kualitasnya dihitung kembali. Proses ini diulang sampai jaring mampu memberikan nilai yang mendekati kriteria yang diinginkan. Sedangkan pada metode analitis, solusi dari desain jaring disajikan melalui perhitungan matematis. Metode ini memberikan sejumlah fungsi objektif yang menggambarkan presisi, reliabilitas, dan biaya yang harus dipenuhi pada proses optimasi.

Secara matematis, optimalisasi berarti menetapkan nilai maksimum atau minimum fungsi target dibawah sejumlah *constraint* (keseimbangan, tidak seimbang ataupun keduanya). Dalam hal optimalisasi jaring geodetik, salah satu tujuannya adalah menampilkan kualitas jaring. Tiga kriteria umum yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas posisi jaring geodetis pada umumnya dideskripsikan melalui ketelitian (*precision*), kehandalan (*reliability*), dan ekonomis, serta *sensitivity* (sensitifitas) untuk jaring pengamatan deformasi. (Kuang, 1996).

2.4 Analisis Kualitas Desain Jaring

Salah satu cara untuk mengetahui kualitas desain jaring adalah dengan menentukan ketelitian dari setiap titik koordinat serta nilai dari kekuatan jaring. Ketelitian atau tingkat presisi dapat diperoleh dari matriks variansi-kovariansi titik koordinat yang diperoleh menggunakan hitung perataan. Sedangkan nilai dari kekuatan jaring dapat dilihat dari nilai *Strength of Figure* (SOF) (Siami dkk., 2021; Hidayat dkk., 2019).

2.4.1 Hitung Perataan

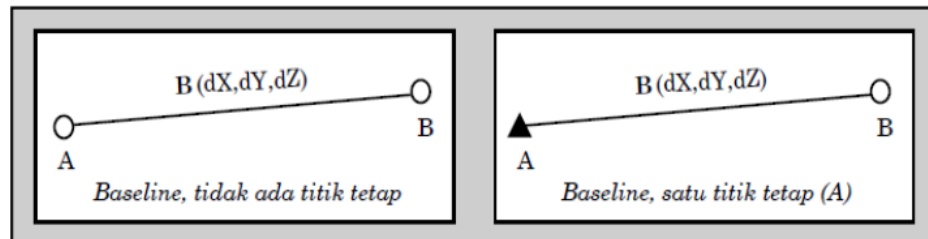
Pada sebuah pengukuran, data yang dihasilkan selalu dihindangi kesalahan. Besar kesalahan tersebut bervariasi dan harus dihilangkan. Salah satu cara untuk menghilangkan kesalahan tersebut adalah dengan melakukan hitung perataan. Konsep dari perataan adalah menggunakan prinsip kuadrat terkecil (*least squares*), untuk meminimalkan jumlah kuadrat dari besar kesalahan. Perataan ini bertujuan untuk menemukan model atau fungsi yang paling cocok dengan data yang diberikan dengan cara meminimalkan selisih antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi oleh model (Kahar, 2016; Ghilani, 2010).

Pada prinsip tersebut, terdapat dua metode fungsional yang digunakan dalam menghitung perataan, yaitu *conditional adjustment* (perataan bersyarat) dan *parametric adjustment* (perataan parameter). Dalam menerapkan metode tersebut, pengukuran yang dilakukan harus memiliki ukuran lebih (r) untuk memastikan kontrol dalam hasil pengukuran. Ukuran lebih ini dikenal sebagai *redundancy*, banyaknya nilai *redundancy* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$r = n - n_0 \dots\dots\dots (1)$$

n merupakan jumlah pengukuran yang dilakukan dan n_0 adalah jumlah pengukuran minimum yang diperlukan. Dalam perhitungan menggunakan metode parameter, terdapat beberapa kondisi yang harus diperhatikan, yaitu sebagai berikut (Sidharta, 2018):

- Pada persamaan kondisi mengandung nilai pengukuran dan parameter yang dicari.
- Jumlah persamaan kondisi sama dengan jumlah pengukuran yang dilakukan
- Setiap persamaan kondisi hanya memiliki satu pengamatan dengan koefisien satuan.



Gambar 5. Geometri pada Vektor *Baseline* (Lepas dan Terikat) (Sidharta, 2018)

Dalam metode perataan kuadrat terkecil metode parameter, persamaan pengamatan untuk suatu vektor *baseline* lepas dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$V + B = X_B - X_A \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$B (dX_{AB}, dY_{AB}, dZ_{AB})$: Data ukuran vektor *baseline* yang merupakan hasil dari perhitungan *baseline*

$V(V_X, V_Y, V_Z)$: Vektor *residual* atau vektor koreksi terhadap vektor *baseline*

X_A dan X_B : Vektor posisi (merupakan parameter yang dicari)

Dalam bentuk matriks, persamaan diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_{AB} \\ dY_{AB} \\ dZ_{AB} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

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

$$V = AX - L \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- V : Vektor residu
- A : Matriks desain
- X : Vektor parameter
- L : Vektor pengamatan

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

$$A = [-I \quad I] = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

I Adalah matriks identitas dan vektor-vektor parameter dan pengamatannya adalah:

$$X = [X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B]^T \dots\dots\dots (6)$$

$$L = [dX_{AB}, dY_{AB}, dZ_{AB}]^T \dots\dots\dots (7)$$

Untuk suatu vektor *baseline* yang terikat, di mana salah satu titik ujungnya merupakan titik kontrol dengan koordinat yang sudah diketahui, misalnya titik A, maka persamaan pengamatannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_A + dX_{AB} \\ Y_A + dY_{AB} \\ Z_A + dZ_{AB} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

Jika mengacu pada persamaan (4), maka:

$$A = I \dots\dots\dots (9)$$

$$X = [X_B, Y_B, Z_B]^T \dots\dots\dots (10)$$

$$LL = [X_A + dX_{AB}, Y_A + dY_{AB}, Z_A + dZ_{AB}]^T \dots\dots\dots (11)$$

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

$$X = (A^T P_L A)^{-1} A^T P_L L \dots\dots\dots (12)$$

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

$$P_L = Q_L^{-1} = \sigma_0^2 C_L^{-1} \dots\dots\dots (13)$$

Q_L merupakan matriks kofaktor, σ_0^2 adalah faktor variansi apriori yang biasanya ditetapkan sebagai 1, dan C_L merupakan matriks variansi-kovariansi pengamatan. Menurut Model II Gauss-Markov, nilai C_L pada setiap vektor *baseline* dapat dihitung berdasarkan spesifikasi alat yang digunakan dengan menggunakan rumus (Sidharta, 2018):

$$\sigma_0^2 = a^2 + b^2 s^2 \dots\dots\dots (14)$$

a dan b merupakan spesifikasi yang tertera pada alat (contoh: 3 mm + 0,5 ppm, $a = 3$ mm dan $b = 0,5$ ppm) dan s adalah jarak antar titik. Kemudian pada tahap desain, persamaan (14) digunakan untuk mendefinisikan presisi dari *baseline* sehingga:

$$\sigma_{\Delta xi}^2 = \sigma_{\Delta yi}^2 = \sigma_{\Delta zi}^2 = a^2 + b^2 s_i^2 \dots\dots\dots (15)$$

Matriks VCV dari setiap vektor *baseline* akan mempunyai struktur sebagai berikut:

$$C(L_i) = \begin{bmatrix} \sigma_{dxi}^2 & \sigma_{dxi dyi} & \sigma_{dxi dzi} \\ \sigma_{dxi dyi} & \sigma_{d yi}^2 & \sigma_{d yi d zi} \\ \sigma_{dxi d zi} & \sigma_{d yi d zi} & \sigma_{\Delta zi}^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

Untuk menghitung nilai matriks variansi-kovariansi dalam jaring juga dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$C_X = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P_L A)^{-1} \dots\dots\dots (17)$$

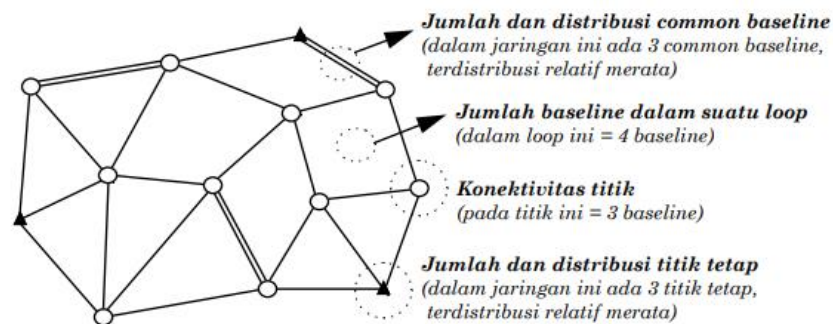
$\hat{\sigma}_0^2$ merupakan faktor variansi aposteori yang dihitung menggunakan rumus:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P_L V}{n-u} \dots\dots\dots (18)$$

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

2.4.2 Strength of Figure (SOF)

Strength of Figure merupakan nilai dari kekuatan jaring. Kekuatan jaring sangat tergantung pada karakteristik dari beberapa parameter, seperti jumlah dan lokasi titik dalam jaringan (termasuk titik tetap), jumlah *baseline* dalam jaringan (termasuk *common baseline*), konfigurasi *baseline* dan *loop*, serta konektivitas titik dalam jaringan (Abidin dan Mugiarto, 2000). Beberapa dari parameter tersebut divisualisasikan pada berikut.



Gambar 6. Parameter dari Geometri Jaring (Abidin dan Mugiarto, 2000)

Salah satu metode untuk menentukan konfigurasi jaring yang baik adalah dengan menggambarkan tingkat ketelitian dari koordinat titik-titik dalam jaring. Dengan asumsi bahwa faktor variansi aposteriori sama dengan satu, serta ketelitian dari vektor *baseline* dan vektor koordinat homogen dan independen antar komponennya, suatu nilai untuk memprediksi kekuatan jaring dapat dirumuskan sebagai berikut (Aditya dkk., 2015; Astuti, 2014):

$$SOF = \frac{trace(A^T A)^{-1}}{jumlah\ parameter} \dots\dots\dots (19)$$

Dari persamaan tersebut, dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai faktor kekuatan jaring, maka konfigurasi jaring tersebut akan semakin baik, dan sebaliknya, semakin besar nilai faktor kekuatan jaring, maka konfigurasi jaring tersebut akan semakin buruk.

Jika jaring yang dibentuk adalah jaring *triangulasi*, nilai *Strength of Figure* (SOF) dapat dihitung menggunakan persamaan (Anjasmara dan Sidharta, 2018):

$$SOF = \frac{D-C}{D} [\sum(\delta A^2 + \delta A * \delta B + \delta B^2)] \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

D : Total arah dalam jaring

C : Jumlah syarat sudut dan syarat sisi

δA dan δB : Nilai diferensial

Dalam setiap *baseline*, dapat memiliki satu ataupun dua arah, yang berarti *baseline* tersebut diukur sebanyak dua kali. Nilai C merupakan jumlah syarat sisi (C_s) dan syarat sudut (C_a) seperti yang terlihat pada persamaan berikut:

$$C = C_a + C_s = (A - L + 1) + (N - 2_s + 3) \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan:

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

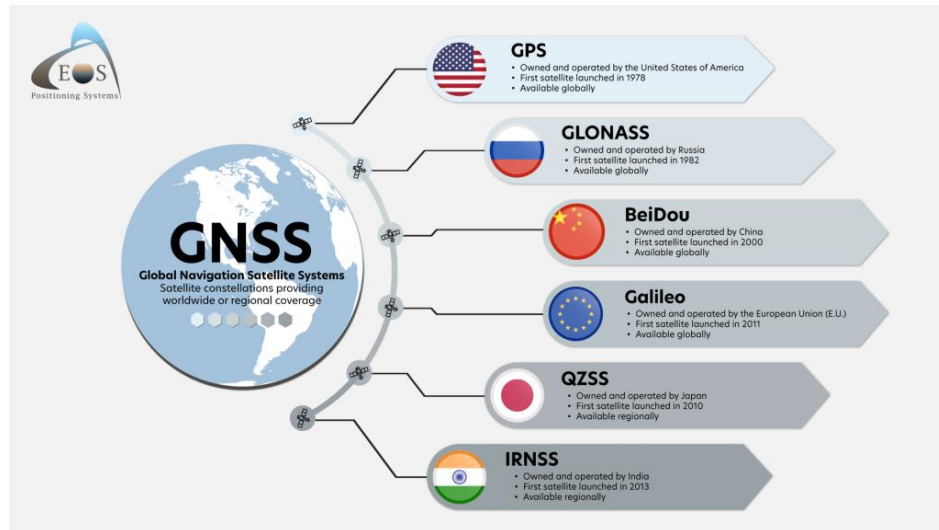
Sedangkan nilai D menunjukkan jumlah arah yang diamati pada pengukuran. Nilai D dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$D = 2(A - 1) + \text{jumlah sisi yang diukur satu arah} \dots\dots\dots (22)$$

2.5 Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS atau *Global Navigation Satellite System* merupakan sebuah alat atau suatu sistem navigasi dan penentuan posisi yang memanfaatkan satelit dan dapat digunakan untuk menginformasikan penggunanya dimanapun secara global. Sistem ini dapat memberikan informasi mengenai posisi tiga dimensi dan ditambah dengan informasi waktu. Sistem ini dapat memberikan informasi mengenai posisi tiga dimensi dan ditambah dengan informasi waktu. Tidak terbatas oleh kedua hal tersebut, penggunaan teknologi GNSS dapat digunakan untuk mengetahui keadaan meteorologi (troposfer dan ionosfer), deformasi, dan banyak hal turunan lainnya (Yuwono dan Apsandi, 2018; Kurniawan dkk., 2019).

Beberapa satelit GNSS yang telah beroperasi adalah GPS (*Global Positioning System*) yang dikembangkan oleh Amerika Serikat, GLONASS oleh Rusia, Galileo oleh Uni Eropa, serta BeiDou yang dimiliki oleh China. Selain itu, terdapat sistem GNSS yang bersifat secara regional, atau beroperasi dengan cakupan wilayah tertentu seperti QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) milik Jepang dan IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*) dari India (Gumilar dan Bramanto, 2021).



Gambar 7. Sistem GNSS dari berbagai negara (Eos Positioning Systems, 2023)

Salah satu teknologi penentuan posisi yang menggunakan GNSS dalam pengoperasiannya adalah CORS. CORS (*Continuously Operating Reference Stations*) merupakan suatu sistem aktif berbasis GNSS atau sistem satelit yang digunakan untuk menentukan posisi dan beroperasi secara penuh dan kontinu selama 24 jam setiap hari. CORS digunakan untuk menyediakan titik referensi yang stabil dan akurat dengan menggunakan sinyal sistem GNSS dalam penentuan posisinya (Ramadhan dkk., 2019).

2.6 AUSPOS

AUSPOS merupakan sebuah layanan pemrosesan data GPS berbasis *web* yang disediakan secara gratis oleh *Geoscience Australia*. Layanan ini memanfaatkan jaringan stasiun *International GNSS Service* (IGS) beserta produk-produknya, serta data dan solusi koordinat dari jaringan *Asia-Pacific Reference Frame* (APREF). AUSPOS dapat digunakan untuk memproses data GPS yang dikumpulkan dari mana saja di seluruh dunia.

Seperti layanan *online* pengolahan data lainnya, AUSPOS tidak dipungut biaya dan tidak perlu melakukan pendaftaran untuk menggunakannya. Pengguna mengirimkan data pengamatan *dual* frekuensi ke *website* yang telah disediakan AUSPOS dan hasil pengolahan data akan dikirimkan kembali ke *email*. Untuk menggunakan layanan ini, diharuskan untuk mengirimkan data GPS RINEX

dengan kualitas geodetik dan frekuensi ganda yang direkam dalam kondisi pengamatan statik. Setelah diproses, sistem akan mengirimkan hasil laporan ke email pengguna yang mencantumkan koordinat dalam tiga sistem referensi, yaitu GDA2020 (*Geocentric Datum of Australia 2020*), GDA94 (*Geocentric Datum of Australia 1994*), dan ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

AUSPOS menggunakan teknik penentuan posisi GPS diferensial yang mengandalkan tiga stasiun layanan GNSS Internasional (IGS) terdekat dan menggunakan informasi *precise* orbit IGS. AUSPOS dirancang agar mudah digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk penentuan posisi stasiun referensi DGPS, penentuan garis dasar yang sangat panjang, penentuan posisi stasiun GNSS jarak jauh, koneksi GNSS ke stasiun IGS dan penentuan posisi dengan akurasi tinggi.

2.7 TEQC

TEQC (*Translation, Editing, and Quality Checking*) merupakan sebuah perangkat lunak komprehensif yang dikembangkan oleh UNAVCO untuk memecahkan berbagai masalah pra-pemrosesan data GNSS, terutama dalam format RINEX dan BINEX. *Software* ini memiliki tiga fungsi utama yaitu *translation*, *editing*, dan *quality checking* (Estey dan Wier, 2014).

Translation berguna untuk membaca *file* asli GNSS dan menerjemahkan data ke format lain; kemudian *editing* untuk ekstraksi metadata, pengeditan, dan koreksi metadata *header* RINEX atau BINEX; serta *quality checking* untuk pemeriksaan kualitas data GPS atau GLONASS dengan atau tanpa *file* navigasi dengan *ephemerides* (Kasfari dkk., 2018).

Berikut merupakan beberapa kemampuan dari perangkat lunak TEQC (Arif, 2020; Prasidya dkk., 2019).

1. Mengubah format biner asli tertentu (misalnya, Trimble.*dat) ke dalam format data RINEX dengan *file observation* dan/atau tanpa *file navigation*.
2. Memeriksa *file* RINEX atau spesifikasi *file* untuk memenuhi versi RINEX.

3. Memodifikasi (*editing*) setiap *field header* RINEX ke dalam *file* RINEX dan *outputnya*.
4. *Quality check* pada data observasi *file* RINEX, tanpa melibatkan data *file* navigasi (disebut *qc-lite*, dengan TEQC tidak memiliki informasi posisi satelit).
5. *Quality check* pada data observasi *file* RINEX, dengan melibatkan data navigasi (disebut *qc-full*, dengan TEQC memiliki informasi posisi satelit).
6. Melakukan pemotongan (menentukan rentang waktu yang digunakan) atau menggabungkan dua atau lebih *file* RINEX.
7. Membuat *file* RINEX baru dengan *sampling interval* lebih lama, misalnya dari 1 detik sampai dengan 30 detik.

Dalam melakukan pengecekan data menggunakan TEQC, terdapat beberapa parameter yang harus terpenuhi agar data dapat dikualifikasikan baik (Lestari, 2006), diantaranya yaitu:

1. Nilai MP1 dan MP2 kurang dari 0,5 m.
2. Nilai IOD *slips* kurang dari 100.
3. Nilai IOD or MP *slips* kurang dari 100.
4. Tingkat perekaman data, semakin mendekati 100% semakin baik

Nilai MP1 dan MP2 merupakan *multipath* yang merupakan kombinasi *linear* antara pengamatan *pseudorange* dan *carrier phase*, hal ini menunjukkan *multipath pseudorange* L1 untuk pengamatan kode C/A atau P, dan *multipath pseudorange* L2 untuk pengamatan kode P. Nilai ini menunjukkan rata-rata (RMS) *multipath* MP1 dan MP2 dalam meter. Pada mode *qc-full*, nilai MP1 dan MP2 adalah saat pengamatan berada di atas elevation mask (Yulaikhah dkk., 2018).

2.8 MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh MathWorks, Inc., yang menyediakan lingkungan komputasi dan bahasa pemrograman untuk berbagai keperluan analisis data, pengembangan algoritma,

pemrosesan sinyal, pemodelan matematika, visualisasi, dan aplikasi lainnya di berbagai bidang ilmu dan industri. MATLAB juga memiliki sejumlah *toolbox* untuk menangani persoalan-persoalan yang spesifik seperti *image processing* untuk melakukan pengolahan citra, *signal processing* untuk menangani pengolahan isyarat, serta *neural network* untuk menangani berbagai fungsi yang terkait dengan jaringan saraf tiruan (Irawan, 2012).

Selain itu, perangkat lunak ini dapat diintegrasikan dengan bahasa pemrograman dan aplikasi lain seperti C, Java, .NET *Framework*, dan *Microsoft Excel*, yang dapat memperluas fleksibilitas dan fungsionalitasnya.

2.9 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Agisoft LLC*. *Software* ini berfungsi untuk mengolah data fotogrametri (citra satelit dan foto udara), serta dapat menghasilkan data spasial 3D untuk digunakan dalam berbagai *software* GIS. Perangkat lunak ini juga memungkinkan pengolahan dari berbagai jenis kamera, termasuk kamera RGB, termal, multispektral, serta sistem multi-kamera.

Dari data fotogrametri tersebut, *Agisoft* kemudian mengubahnya menjadi informasi spasial seperti *dense point cloud*, *orthomosaic* yang tergeoreferensi, DEM, DSM serta DTM. *Software* ini juga dapat secara otomatis mengklasifikasi *dense point clouds*, menghilangkan bayangan, menghitung indeks vegetasi, serta mengekstraksi informasi pada bidang agrikultur. (Yakar dkk., 2022).

Agisoft Metashape juga merupakan perangkat lunak profesional yang menggunakan metode fotogrametri klasik yang di kombinasikan dengan algoritma modern. *Metashape* dapat memproses RGB atau multispektral dari kamera digital apa pun, termasuk sistem dengan *multiple* kamera. Perangkat lunak ini dapat mengubah menjadi *dense point cloud*, model poligonal bertekstur, ortofoto *geo-linked*, dan model *terrain digital* (DTM). Pemrosesan

sepenuhnya otomatis, yang harus dilakukan adalah mengunggah foto ke *project* dan tinggal menunggu hasilnya (Supriyanto, 2019).

Beragam format 3D model juga di dukung oleh *Metashape* antara lain: 3DS, OBJ, VRML, COLLADA, PLY, FBX, Alembic, Stanford PLY, STL, Autodesk FBX, Autodesk DXF (dalam bentuk *polyline* atau 3DFace), U3D dan Adobe PDF 3D. *Agisoft Metashape* juga memiliki tingkat automasi yang tinggi. Sebagian besar tahap pengolahan data dapat dilakukan sepenuhnya secara otomatis oleh komputer. Namun untuk mencapai hasil yang maksimal diperlukan intervensi dari operator untuk mengedit data pada tahapan tertentu secara manual. Dengan demikian hasil akhir yang dicapai akan sesuai dengan keinginan pengguna. Dalam beberapa kasus, intervensi dari operator juga dapat meningkatkan efisiensi dan mempercepat proses pengolahan dibandingkan menyerahkan seluruh proses sepenuhnya kepada komputer (Pinatik dan Papilaya, 2024; Hidayat dan Cahyono, 2023).

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu acuan yang digunakan dalam penelitian ini untuk mencari perbandingan dan menunjukkan *gap* dari penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, penelitian terdahulu juga dijadikan sebagai referensi untuk membantu kajian dalam penelitian ini. Berikut adalah penelitian terdahulu yang dijadikan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1	Noviani Astuti (2014)	Kajian Optimasi Jaring Deformasi Berdasarkan Kriteria <i>Precision</i> & <i>Reliability</i> (Studi Kasus: Data Pengamatan Jaring Deformasi Provinsi DKI Jakarta)	Menggunakan data observasi GPS tahun 2011 dan 2012 berdasarkan kriteria <i>precision</i> dan <i>reliability</i>	Desain jaring tahun 2011 adalah jaringan yang lebih optimal dibandingkan jaring pengukuran tahun 2012 berdasarkan nilai <i>precision</i> dan <i>reliability</i>

2	Yan Adrian Sidharta (2018)	Analisis dan Optimasi Desain Jaringan Pengamatan Deformasi di Kota Surabaya	Optimasi berdasarkan presisi, reliabilitas, biaya. Pengolahan menggunakan <i>software</i> Matlab	Desain jaring III merupakan desain jaring optimal dari segi presisi, reliabilitas, dan biaya
3	Nurrohmat Widjajanti, Sherly Shinta Emalia, Parseno (2018)	<i>GNSS Monitoring Network Optimization Case Study: Opak Fault Deformation</i> , Yogyakarta	Optimasi berdasarkan nilai tujuan akurasi dan nilai tujuan kehandalan	Desain jaring TGD_3 merupakan desain jaring paling optimal berdasarkan fungsi tujuan kehandalan
4	Kurniawan Adi Widiyanto, L M Sabri, Moehammad Awaluddin (2019)	Analisis Desain Jaringan GNSS Berdasarkan Fungsi Kehandalan Internal dan Kehandalan Eksternal (Studi Kasus: Titik Geoid Geometri Kota Semarang)	Pengukuran GNSS metode <i>rapid static</i> . Optimasi berdasarkan kriteria kehandalan	Kehandalan jaring tidak berpengaruh signifikan terhadap simpangan baku jaring, dan kehandalan jaring berpengaruh signifikan terhadap kekuatan jaring akibat kesalahan sistematis atau blunder dari titik kontrol
5	Reza Nur Hidayat, L M Sabri, Moehammad Awaluddin	Analisis Desain Jaringan GNSS Berdasarkan Fungsi Presisi (Studi Kasus: Titik Geoid Geometri Kota Semarang)	Pengukuran menggunakan GNSS metode <i>rapid static</i> . Optimasi berdasarkan kriteria presisi	Desain jaring paling optimal berdasarkan fungsi presisi adalah desain jaring nomor 1 dengan standar deviasi 0,03845
6	Ghea Ayunda Siami, Bilal Ma'ruf, Dedi	Optimasi Geometri Jaringan GNSS dan RTS untuk Pemantauan Deformasi Kontiniu Saluran Induk Kalibawang di Jembatan Talang Bowong, Kabupaten Kulon Progo	Penelitian dilakukan dengan data simulasi dari orthophoto. Optimasi jaring GNSS dan RTS dilakukan	Desain jaring paling optimal yaitu jaring DG04 yang didapatkan berdasarkan kriteria presisi, kehandalan luar paling kecil, dan redundansi

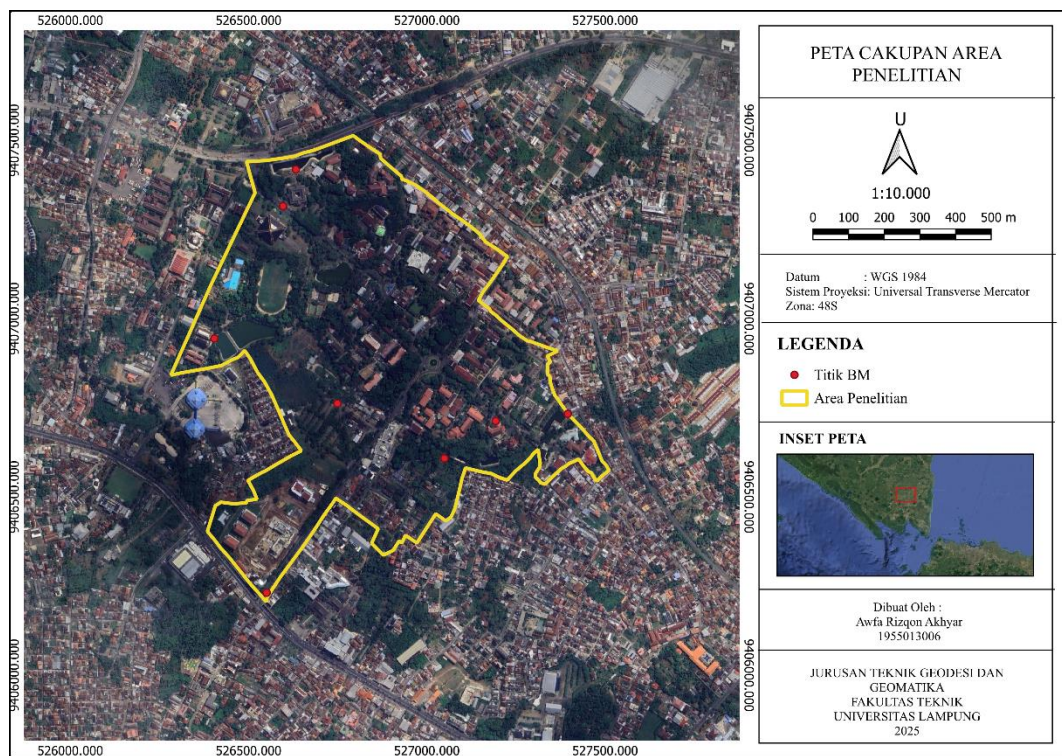
	Atunggal (2021)		berdasarkan variasi jumlah baseline dan variasi jarak antar titik prisma target	
7	Awfa Rizqon Akhyar (2025)	Analisis Optimasi Desain Jaring Menggunakan Citra Foto Udara dalam Rangka Meningkatkan Kualitas Data Pengukuran di Lingkungan Universitas Lampung	Optimasi menggunakan kriteria presisi dan SOF yang diolah menggunakan <i>software</i> Matlab	Desain jaring 1 merupakan desain jaring optimal dari jaring lainnya dengan nilai variansi-kovariansi 1,6015 dan nilai SOF 0,25

Pada penelitian terdahulu, dilakukan optimasi desain jaring berdasarkan presisi, realibilitas, biaya, dan kehandalan. Pada penelitian ini, dilakukan optimasi desain jaring yang berfokus pada presisi (ketelitian) dan kekuatan jaring (SOF). Nilai presisi didapatkan menggunakan hitung perataan, sedangkan nilai kekuatan jaring didapatkan dengan menghitung nilai *strength of figure* (SOF) yang dilakukan menggunakan *software* Matlab.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro Nomor 1, Gedong Meneng, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141.



Gambar 8. Area Lingkup Penelitian

3.2 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Adapun perangkat keras dan lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.1 Perangkat Keras

Berikut merupakan perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini.

1. 1 unit Laptop Asus Intel (R) *Core i5-3317U* RAM 16GB 64 bit.
2. 4 paket *Receiver Hi-Target*
3. 4 unit *Statif*
4. 4 unit *Prisma*
5. 4 unit *Tribrach*
6. 6 unit Aki

3.2.2 Perangkat Lunak

Berikut merupakan perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini.

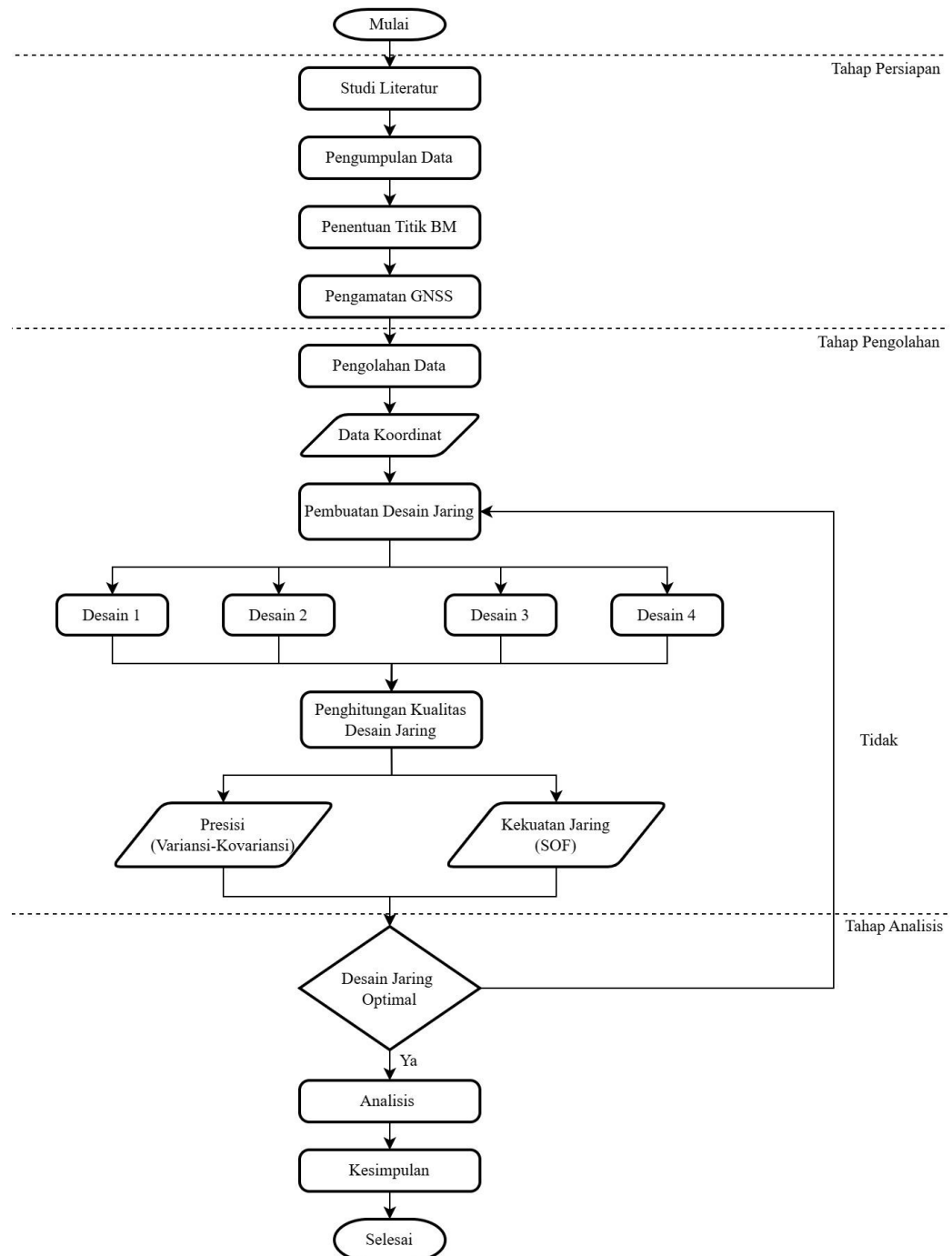
1. MATLAB R2023a
2. *Agisoft Metashape Professional* Versi 1.8.5
3. *Microsoft Office Word* 2021
4. TEQC
5. AUSPOS Versi 3.0

3.3 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra foto udara resolusi tinggi tahun 2022 yang diakuisisi menggunakan UAV. Selain data citra foto udara, penelitian ini juga menggunakan data pengamatan GNSS tahun 2024 yang diukur menggunakan alat *Hi-Target*.

3.4 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

3.5 Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahapan yang umum dijalani oleh seorang peneliti sebelum memulai penelitian. Persiapan ini berguna untuk memastikan seluruh tahapan penelitian berjalan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Tahap persiapan ini terdiri dari studi literatur dan pengumpulan data dengan rincian sebagai berikut.

3.5.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan pengumpulan referensi yang berkaitan dengan penelitian meliputi kajian optimasi desain jaring, penentuan titik BM, serta pengukuran dan pengolahan data GNSS. Referensi atau literatur yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber seperti artikel atau jurnal, buku, skripsi atau tugas akhir, dan sebagainya.

3.5.2 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, penulis menggunakan data citra foto udara yang didapatkan dari citra pengamatan UAV tahun 2022 menggunakan *dji phantom 3*. Setelah itu, dilakukan *orthophoto* dan *orthomosaic* pada citra menggunakan *software Agisoft Metashape*. Hasil dari pengolahan citra tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Data Citra Foto Udara yang digunakan

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan data pengamatan GNSS. Data ini diambil pada tahun 2024 menggunakan alat *Hi-Target* yang diamati selama 8 jam pada setiap *baseline* dengan *interval* 30 detik. Berikut merupakan tahapan pengambilan data pengamatan GNSS.

a. Penentuan Titik BM

Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi titik BM yaitu tempat tersebut merupakan tempat yang terbuka, hal ini dikarenakan untuk menghindari adanya multipath. Selain itu, titik yang akan dibuat haruslah mewakili seluruh area Universitas Lampung. Dalam hal ini, citra foto udara digunakan untuk membantu menentukan titik BM, citra foto udara berfungsi sebagai persepsi area penelitian dari ketinggian. Dengan hal tersebut, titik yang didapatkan mampu terlihat secara visual, sehingga akan mempermudah dalam menentukan jarak antar titik, daerah yang minim multipath, serta juga dapat mewakili area yang diinginkan.

Seperti yang terlihat pada gambar 11, setelah mempertimbangkan hal-hal yang dibutuhkan untuk penentuan titik, didapatkan 8 buah titik. Titik 1,2,5,6, dan 7 merupakan titik yang sudah ada sebelumnya, sedangkan titik 3,4, dan 8 merupakan titik yang baru ditentukan. Titik-titik tersebut tersebar dan mewakili seluruh area Universitas Lampung



Gambar 11. Lokasi Titik BM

b. Pengamatan GNSS

Pengukuran titik BM dilakukan dengan menggunakan 4 alat receiver Hi-Target beserta kelengkapan pengukuran. Pengukuran ini dilakukan selama 8 jam pada setiap baseline dengan interval 30 detik. Hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan pengamatan adalah mengambil tinggi alat, kemudian alat GNSS Hi-Target dihidupkan secara bersamaan untuk memulai pengambilan data. Saat pengamatan, penulis harus memeriksa kondisi aki secara berkala untuk memastikan alat tidak mati saat pengamatan berlangsung, jika tegangan aki mulai menurun dibawah kondisi normal, maka aki akan diganti dengan baterai ataupun aki lainnya. Pengamatan ini berlangsung selama 5 hari. Berikut merupakan gambar pengamatan titik menggunakan GNSS.



Gambar 12. Pengukuran Tinggi Alat GNSS



Gambar 13. Pengamatan GNSS

3.6 Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan dilakukan dengan mengolah data koordinat hasil pengamatan. Setelah itu, titik koordinat dapat digunakan sebagai dasar pembuatan desain jaring. Kemudian desain jaring akan dihitung kualitasnya berdasarkan nilai variansi-kovariansi dan SOF.

3.6.1 Pengolahan Data Pengamatan

Pengolahan data pengamatan dilakukan secara *online* menggunakan AUSPOS melalui web <https://gnss.ga.gov.au/auspos>. Data berupa *file* RINEX, tinggi alat, dan jenis *antenna* dikirim melalui *web* AUSPOS. Dan kemudian AUSPOS akan mengirimkan hasil pengolahan melalui email. Berikut merupakan tampilan web AUSPOS saat pengiriman data.

Gambar 14. Pengolahan data secara *online* menggunakan AUSPOS

Pengolahan data dengan menggunakan *software web-based online* AUSPOS dapat dilakukan dengan mengakses melalui situs *website Geo-science* Australia di <https://gnss.ga.gov.au/auspos>. Setelah membuka *website* layanan pengolahan GPS AUSPOS maka dapat memasukkan *file* yang di perlukan sebagai berikut:

1. Memasukan data *file* RINEX. Pengguna dapat memilih *file* yang akan *input* untuk diproses. Pengolahan dapat dilakukan hingga mencapai 20 *file* RINEX sekaligus. Data RINEX harus berformat *.yxo agar bisa dilakukan pengolahan.
2. Data RINEX yang di *input* akan terlihat sesuai dengan nama *file* yang di masukan, dilanjutkan pengisian kelengkapan *file* lainnya seperti tinggi alat dan tipe antena yang digunakan dalam pengamatan titik. Kelengkapan dapat

langsung di *scan* atau di pindai secara otomatis, namun juga dapat mengisi secara manual.

3. Mengisi alamat email yang aktif pada kolom email *address* dan dilanjutkan dengan *submit* data. Maka dilaman yang sama akan muncul pemberitahuan telah berhasil mengirimkan *file* RINEX untuk di proses. Status pengerjaan *file* juga dapat ditanyakan dengan mencantumkan *number job*. Nama *file*, tinggi, dan tipe antena akan tercantum sesuai dengan yang di *input* oleh pengguna. Permintaan pengolahan data di proses dan akan dikirimkan ke email pengguna, untuk konfirmasi detail pekerjaan dan informasi pengguna dapat juga mengecek email yang sama.
4. Pada email pengguna akan dikirim email pertama yang berisi ID *job* sesuai dari pemberitahuan pada laman sebelumnya. Serta pemberitahuan akan menerima email dan *link download* jika hasil pengolahan AUSPOS telah selesai. Namun jika tidak menerima tanggapan apapun setelah beberapa jam, maka pengguna dapat memeriksa ulang data RINEX untuk mengetahui kemungkinan ada masalah pada data RINEX dengan cara mengikuti aturan seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.6. Jika sudah sesuai dengan aturan pengguna dapat *submit file* RINEX kembali pada *software web-based online* AUSPOS.

Pengolahan *software web-based online* AUSPOS ini mengirimkan hasil dalam bentuk PDF, dengan isi yang beragam seperti berikut:

1. Data Pengguna, berisikan informasi nama titik pengamatan, data *file* RINEX pengolahan, tipe antena, tinggi antena, waktu dimulai dan berakhirnya pengamatan. Semua ketinggian antena mengacu pada jarak vertikal dari *ground mark* ke *Antenna Reference Point* (ARP).
2. Rangkuman pengamatan, berisikan informasi singkat mengenai tanggal pengamatan, nama titik pengamatan, stasiun referensi sebanyak 14 stasiun yang digunakan sebagai titik ikat, dan tipe orbit yang digunakan dalam pengolahan AUSPOS.
3. Koordinat hitung (ITRF 2014), semua koordinat didasarkan pada hubungan IGS dengan kerangka acuan ITRF 2014. Semua koordinat ITRF 2014 yang dihasilkan menunjukan rata-rata *epoch* dari data

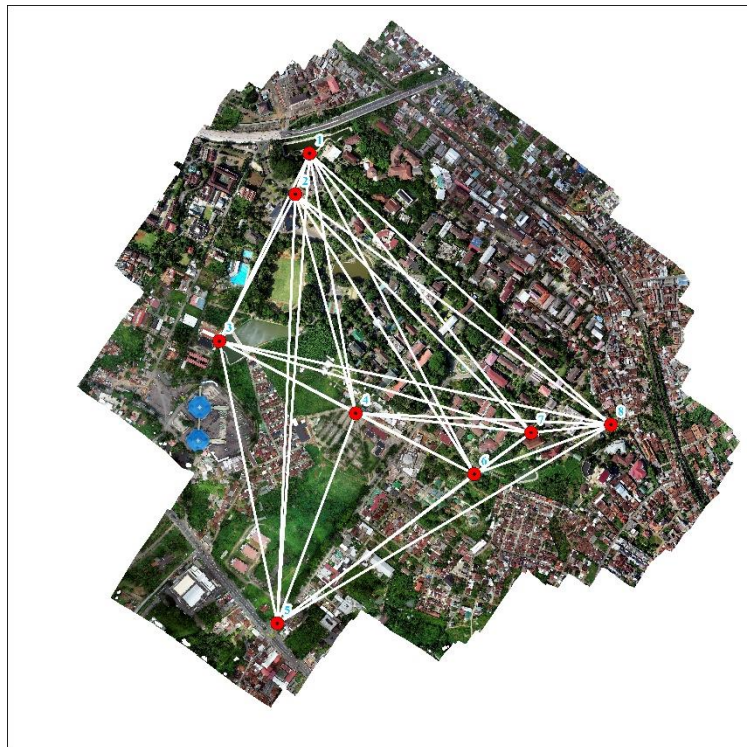
observasi. Semua koordinat mengacu pada *ground mark*. Salah satu koordinat hasil pengolahan yang dihasilkan yaitu koordinat UTM.

3. Resolusi ambiguitas per *baseline*, dikatakan baik apabila tingkat keberhasilan berada di 50% atau melebihi *rate* itu.

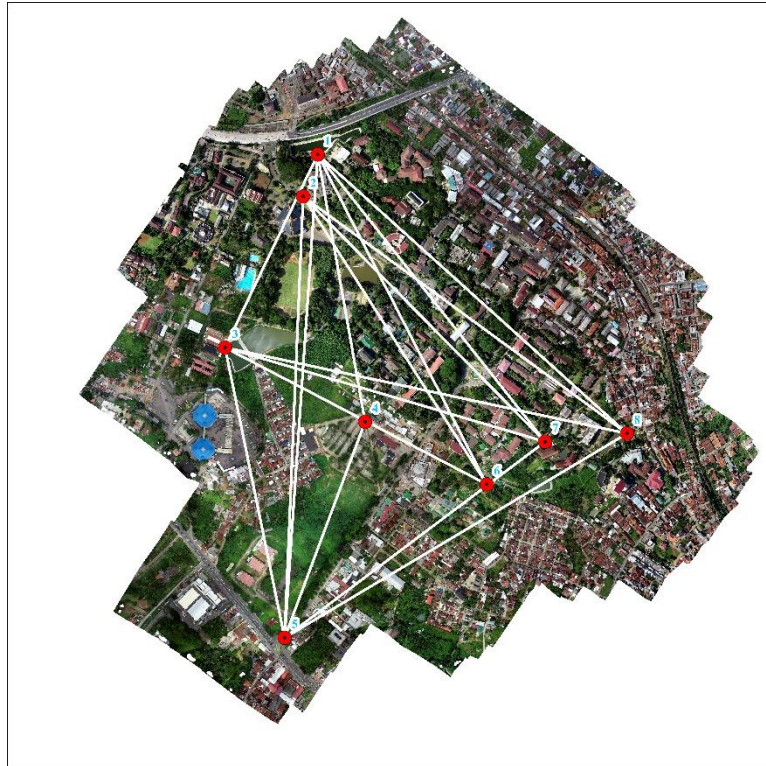
Standar pengolahan, Sistem pengolahan pada AUSPOS yaitu menggunakan *software* Bernese GNSS *Version* 5.2 dengan sistem GNSS yang bisa digunakan hanya GPS saja.

3.6.2 Pembuatan Desain Jaring

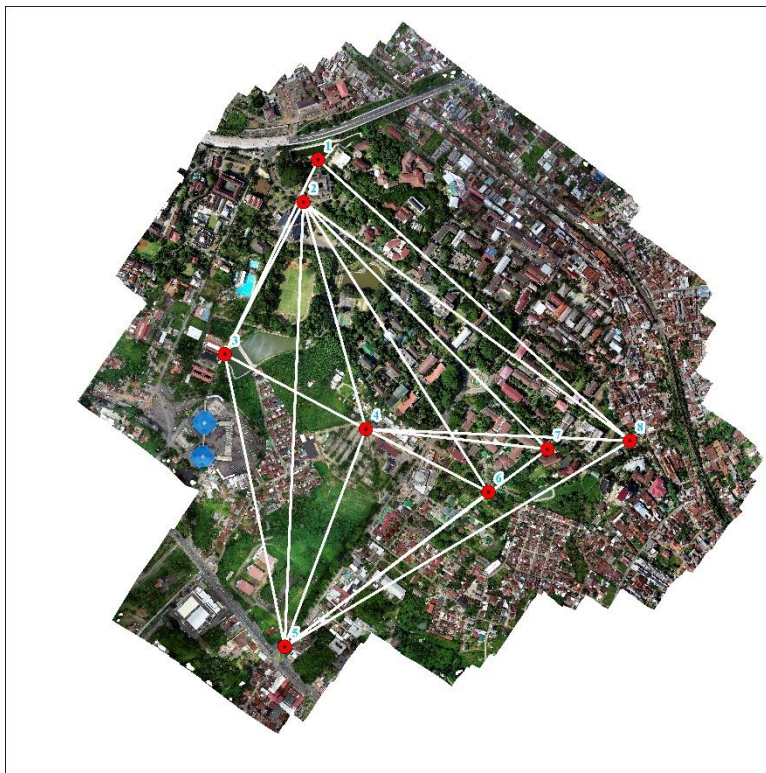
Tahapan selanjutnya setelah pengolahan data pengamatan adalah membuat desain jaring. Desain jaring dibuat dengan menghubungkan titik-titik BM dengan berbagai jumlah baseline yang berbeda pada setiap desain. Berikut merupakan beberapa desain jaring yang digunakan.



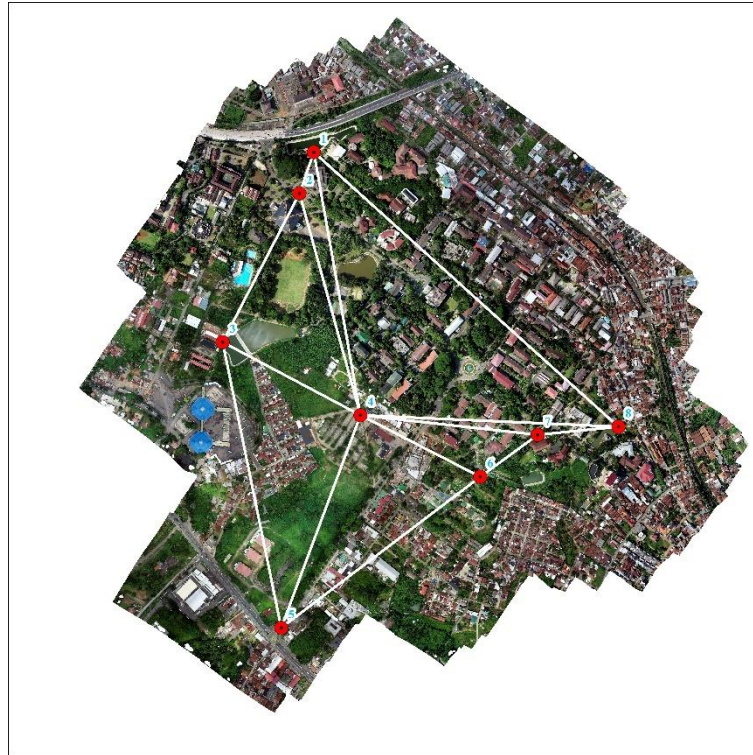
Gambar 15. Desain Jaring 1



Gambar 16. Desain Jaring 2



Gambar 17. Desain Jaring 3



Gambar 18. Desain Jaringan 4

Pada Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18 memperlihatkan desain jaringan 1, desain jaringan 2, dan desain jaringan 3, serta desain jaringan 4. Desain jaringan 1 menggunakan seluruh baseline yang berjumlah 28 baseline. Desain jaringan 2 menggunakan 17 baseline. Desain jaringan 3 sama halnya seperti desain jaringan 2 yaitu menggunakan 17 baseline. Kemudian desain jaringan 4 menggunakan 14 baseline.

3.6.3 Perhitungan Kualitas Desain Jaringan

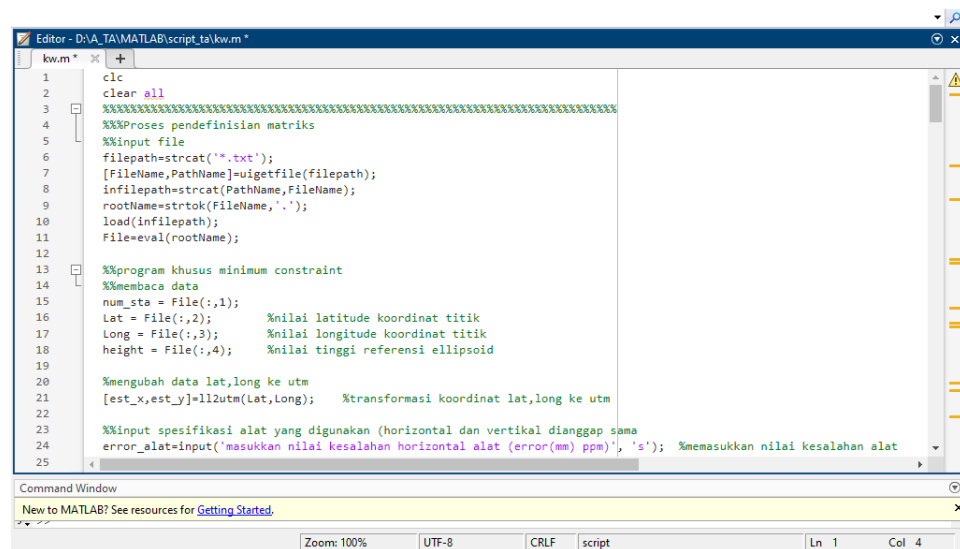
Pada tahap ini, dilakukan penghitungan terhadap kualitas desain jaringan. Kualitas desain jaringan dapat dilihat dari nilai matriks variansi-kovariansi dan nilai SOF nya. Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan metode hitung perataan yang dihitung menggunakan program pada *software* MATLAB. Berikut merupakan langkah-langkah menghitung kualitas desain jaringan.

1. Menyusun koordinat titik yang telah diolah. Setelah itu pindahkan koordinat-koordinat tersebut ke *notepad*. Berikut merupakan koordinat yang digunakan pada setiap desain jaringan.

Tabel 2. Titik Koordinat BM

Titik	<i>Latitude</i> (°)	<i>Longitude</i> (°)	<i>Height</i> (m)
1	-5,3607888	105,2403833	123,362
2	-5,3619972	105,2400611	124,446
3	-5,3656416	105,2390638	115,267
4	-5,3670638	105,2412583	122,581
5	-5,3718027	105,2396472	120,928
6	-5,3683944	105,2441444	116,100
7	-5,3674472	105,2454444	126,685
8	-5,3672222	105,247225	118,346

2. Tahap selanjutnya adalah membuka program penghitungan kualitas jaring. Berikut merupakan tampilan dari program tersebut.



Gambar 19. Tampilan Program Optimasi Desain Jaring pada Matlab

3. Pertama hitung jumlah baseline yang digunakan menggunakan script pada Gambar 20. Penghitungan Jumlah Baseline

%menghitung total possible baseline	
est_pos_dist=[est_x est_y height];	%data keseluruhan
dist=pdist(est_pos_dist);	%menghitung semua kemungkinan selisih x,y,dan z
distance=transpose(dist);	%transpose hasil hitungan dist
all_baseline=length(dist);	%jumlah baseline (jumlah titik-1 x(jumlah titik/2))

Gambar 20. Penghitungan Jumlah Baseline

4. Kemudian lakukan penentuan bobot yang akan digunakan dengan menggunakan script seperti pada Gambar 21.

```
%%PROSES OPTIMASI DENGAN DESAIN II
%membuat persamaan perhitungan baseline
pers_baseline=pers_all_bl(data_no_bm,all_data);

%menentukan nilai bobot
bobot_awal=zeros(all_baseline,1);
for iterasi2=1:all_baseline
    bobot_awal(iterasi2,1)=(nilai_error_alat(1,1))^2+(nilai_error_alat(1,2)/1000*(distance(iterasi2,1)))^2;
    iterasi2=iterasi2+1;
end
P_awal=inv(diag(bobot_awal)); %menentukan nilai bobot pengamatan
est_P=diag(P_awal);
P_awal_all=diag([est_P;est_P;est_P]); %matriks bobot pengamatan awal
```

Gambar 21. Penentuan Bobot Pengamatan

5. Kemudian lakukan pembuatan matriks-matriks menggunakan script seperti pada Gambar 22.

```
%membuat matriks L (pengamatan)
matriks_L_D2=matriks_l(all_baseline,pers_baseline,est_x,est_y,height);

%membentuk matriks-matriks
%persiapan membuat matriks desain A
matriks_A_D2=matriks_a(all_baseline,data_no_bm,pers_baseline);
matriks_AT_D2=transpose(matriks_A_D2); %transpose matriks A
```

Gambar 22. Pembuatan Matriks-Matriks

6. Kemudian lakukan penghitungan optimasi desain jaring menggunakan script seperti yang terlihat pada Gambar 23, Gambar 24, Gambar 25, Gambar 26.

```
%turunan matriks-matriks Desain II
%turunan matriks P terhadap pi
turunan_Pp=turunan_P_pi(P_awal_all);

%proses perhitungan optimasi
loopcnt=1;
Cx_D2(:, :, loopcnt)=Cx_D2_awal;
varians_D2(:, :, loopcnt)=varians_D2_awal;
st_dev_D2(:, :, loopcnt)=st_dev_D2_awal;
P_optimasi(:, :, loopcnt)=P_awal_all;
delta_P=zeros(all_baseline*3,1);
P_baru=diag(P_awal_all)+delta_P;
while max(varians_D2(:, :, loopcnt))>4
    if max(st_dev_D2(:, :, loopcnt))>2
        %turunan fungsi Cx terhadap pi
        dCx_pi=turunan_Cx_pi(all_baseline,matriks_A_D2,P_optimasi(:, :, loopcnt),turunan_Pp);
```

Gambar 23. Proses Perhitungan Optimasi

<pre> %%membentuk model optimasi presisi (Kuang p221-227,248-249) %%membentuk matriks u vec_matriks_kriteria=Cs(:); %vec matriks kriteria Cx_D2_bantu=Cx_D2(:, :, loopcnt); vec_Cx_awal=Cx_D2_bantu(:); matriks_u=vec_matriks_kriteria-vec_Cx_awal; %vec matriks presisi awal %vec matriks kriteria - vec matriks presisi awal %vec turunan Cx terhadap pi for iterasi7=1:all_baseline*3 vec_dCx_pi(:, :, iterasi7)=reshape(dCx_pi(:, :, iterasi7), [], 1); iterasi7=iterasi7+1; end G_p=squeeze(vec_dCx_pi); %menggabungkan vec kedalam 1 matriks %%membentuk matriks G matriks_G=G_p; %%menghitung matriks G1 I_P=eye(data_no_bm*3); khatiri_rao=khatiri_rao(I_P, I_P); G1=transpose(khatiri_rao)*matriks_G; </pre>	
--	--

Gambar 24. Proses Perhitungan Optimasi

<pre> %%menghitung matriks u1 u1=transpose(khatiri_rao)*matriks_u; %%menentukan nilai optimasi w melalui quadratic programming (1/2 xT H x + fT x %objective function = (wTxHTx+Xw-2xuTxXw+uTxu) H_QP=2*transpose(matriks_G)*matriks_G; f_QP=transpose(-2*transpose(matriks_u)*matriks_G); A_QP=G1; b_QP=u1; w_QP=quadprog(H_QP, f_QP, A_QP, b_QP, [], []); %%mendefinisikan hasil optimasi %nilai optimasi bobot pengamatan delta_P=zeros(all_baseline*3,1); for iterasi12=1:all_baseline*3 delta_P(iterasi12,1)=w_QP(iterasi12,1); iterasi12=iterasi12+1; end </pre>	<pre> %H pada quadprog = HT H pada fungsi, dikali 2 agar fungsi dapat balik ke bentuk %f pada quadprog = -2 uT H pada fungsi %A pada quadprog = G1 (kondisi penyelesaian G1xw-u1<=0) %b pada quadprog = u1 (kondisi penyelesaian G1xw-u1<=0) %untuk batas nilai lb & ub tidak diketahui sehingga dibiarkan 0 ([]) %proses iterasi13 %mengambil nilai penambahan bobot pengamatan dari matriks w (hasil optimasi) </pre>
--	--

Gambar 25. Pendefinisian Nilai Optimasi

<pre> P_baru(:, :, loopcnt)=diag(P_optimasi(:, :, loopcnt))+delta_P; loopcnt=loopcnt+1; P_optimasi(:, :, loopcnt)=diag(P_baru(:, :, loopcnt-1)); %turunan fungsi Cx terhadap pi dCx_pi=Turunan_Cx_pi(all_baseline, matriks_A_D2, P_optimasi(:, :, loopcnt), turunan_Pp); for iterasi14=1:all_baseline*3 dCxdpi_pi(:, :, iterasi14)=dCx_pi(:, :, iterasi14)*delta_P(iterasi14,1); iterasi14=iterasi14+1; end sigmadp_pi_pi=sum(dCxdpi_pi,3); Cx_D2(:, :, loopcnt)=inv(matriks_AT_D2*P_optimasi(:, :, loopcnt)*matriks_A_D2)+sigmadp_pi_pi; varians_D2(:, :, loopcnt)=diag(Cx_D2(:, :, loopcnt)); st_dev_D2(:, :, loopcnt)=sqrt(varians_D2(:, :, loopcnt)); else break end end </pre>	
--	--

Gambar 26. Penurunan Cx Terhadap pi

7. Kemudian plot hasil perhitungan desain jaring tersebut menggunakan script seperti pada Gambar 27 Gambar 28.

```

%plot Desain II
%%plot desain jaring optimasi dengan variansi-kovariansi baru
all_varcov_D2=varcov(data_no_bm,st_dev_D2_final);

figure                                %plotting ke dalam gambar
axis('normal');
scale=1/3500;
for pltelp=1:all_data
    ind_opt=(pltelp-1)*2+1;
    ond_opt=(pltelp-1)*2+2;
    plterrel(Lat(pltelp,1),Long(pltelp,1),all_varcov_D2(1:2,ind_opt:ond_opt),scale);
    pltelp=pltelp+1;
    hold on
end

grid off;
title(['Desain Jaring Optimasi (Desain II) ', '(Skala Ellipse: ', num2str(scale), 'x)']);
xlabel('Bujur');
ylabel('Lintang');
hold on

```

Gambar 27. Plot Desain Jaring

```

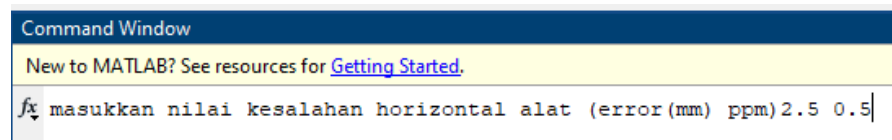
% Plot garis dari titik ke semua titik
bujur_t=transpose(Long);
lintang_t=transpose(Lat);
num_points=all_data;
[D2_line,c_line,v_line] = find(hankel(2:num_points));    %% Create unique combinations of indices
index = [v_line c_line].';                               %% Reshape the indices
line(bujur_t(index),lintang_t(index),'Color','k','MarkerSize', 12);    %% Plot the lines
hold on
plot(Long(2:end),Lat(2:end),'o','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',4);
plot(Long(1,1),Lat(1,1),'^','MarkerFaceColor','k','MarkerEdgeColor','k','MarkerSize',6);
xtickformat('%g\%08B0');
ytickformat('%g\%08B0');
hold off

SOF_D2=(sum(diag(inv(matriks_AT_D2*matriks_A_D2))))/(data_no_bm*3);

```

Gambar 28. Plot Garis dan Titik

8. Setelah melakukan *run* pada program Matlab, akan muncul notifikasi untuk memilih desain jaring. Kemudian pilih desain jaring yang akan dihitung kualitasnya. Setelah itu, pada *command window* akan menampilkan pengisian nilai kesalahan alat. Kemudian isi nilai kesalahan tersebut sesuai alat yang digunakan.



Command Window

New to MATLAB? See resources for [Getting Started](#).

$\rightarrow$ masukkan nilai kesalahan horizontal alat (error(mm) ppm) 2.5 0.5|

Gambar 29. Nilai Kesalahan Horizontal Alat

9. Setelah itu akan muncul hasil penghitungan pada *workspace*. Hal yang harus diperhatikan pada *workspace* ini adalah bagian nilai variansi-kovariansi dan nilai SOF.

3.7 Tahap Analisis

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap kualitas desain jaring. Dari hasil tersebut akan didapatkan desain jaring yang optimal. Kemudian dari desain jaring optimal tersebut akan dilakukan realisasi lapangan.

3.7.1 Analisis Kualitas Desain Jaring Optimal

Analisis kualitas desain jaring, dilakukan dengan membandingkan kualitas dari setiap desain jaring. Dalam hal ini yaitu membandingkan nilai variansi-kovariansi dan SOF yang sudah didapat sebelumnya. Semakin kecil nilai-nilai tersebut, maka kualitas desain jaring akan semakin baik, begitupula sebaliknya. Dari hasil perbandingan tersebut, akan didapat desain jaring dengan kualitas paling baik. Desain jaring kualitas terbaik ini dapat disebut sebagai desain jaring yang optimal.

3.7.2 Efektif dan Efisien

Setelah dilakukan analisis perbandingan kualitas dari setiap desain jaring, dilakukan analisis lebih mendalam berdasarkan keefektifan dan keefisienannya. Hal ini dilakukan dengan membandingkan keefektifan dan keefisienan setiap desain jaring terhadap fungsinya.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan koordinat dari setiap titik dengan format (*Latitude*, *Longitude*, dan *Height*) Titik 1 (-5,3607888; 105,2403833; 123,362), Titik 2 (-5,3619972; 105,2400611; 124,446), Titik 3 (-5,3656416; 105,2390638; 115,267), Titik 4 (-5,3670638; 105,241258; 122,581), Titik 5 (-5,3718027; 105,2396472; 120,928), Titik 6 (-5,3683944; 105,2441444; 116,100), Titik 7 (-5,3674472; 105,2454444; 126,685), dan Titik 8 (-5,3672222; 105,247225; 118,346).
2. Dari keempat desain jaring yang telah dibuat, yaitu desain jaring 1, desain jaring 2, desain jaring 3, dan desain jaring 4. Desain jaring 1 mendapatkan nilai rata-rata variansi $1,6015\text{m}^2$ dan nilai SOF 0,25. Desain jaring 2 mendapatkan nilai rata-rata variansi $2,2578\text{m}^2$ dan nilai SOF 0,4047. Desain jaring 3 mendapatkan nilai rata-rata variansi $4,4892\text{m}^2$ dan nilai SOF 0,7908. Serta desain jaring 4 yang mendapatkan nilai rata-rata variansi $3,7759\text{m}^2$ dan nilai SOF 0,6749.
3. Desain jaring yang paling optimal adalah desain jaring 4. Desain jaring ini cukup efektif karena kualitas desain jaring masih dalam batas toleransi, selain itu desain jaring ini juga efisien karena menggunakan 14 *baseline*, dengan jumlah *baseline* yang lebih sedikit, maka waktu dan biaya pengamatan akan lebih sedikit dibanding desain jaring lainnya.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya tambahkan lebih banyak parameter optimasi desain jaring agar mendapatkan desain jaring yang lebih baik.
2. Sebaiknya menempatkan titik koordinat di tempat yang lebih terbuka agar mendapatkan ketelitian pengukuran yang lebih baik.
3. Sebaiknya perbanyak desain jaring dengan perbedaan baseline yang minim untuk mendapatkan desain jaring optimal yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. dan Mugiarto, F.T. 2000. Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey Gps. *Jurnal Surveying dan Geodesi*. X(1): 1–15.
- Adam, L.I. 2021. Pengukuran Titik Kontrol Menggunakan Alat GNSS HI Target DI Area Universitas Lampung. 1–50.
- Aditya, F.H., Yuwono, B.D. dan Sasmito, B. 2015. Analisis Geometri Jaring Pada Pengukuran GPS untuk Pengadaan Titik Kontrol Orde-2. *Jurnal Geodasi Undip*. 4(2): 267–276.
- Andreas, H., Sarsito, D.A. dan Meilano, I. 2013. Tinjauan Sistem Referensi Geodesi Di Beberapa Negara. *Indonesian Journal Of Geospatial*. 1(2): 30–41.
- Arif, H. 2020. Kontrol Kualitas TEQC. *Universitas Gajah Mada*.
- Astuti, N. 2014. *Kajian Optimasi Jaring Deformasi Berdasarkan Kriteria Precision & Realibility*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Dogget, S. 2020. *What Is An Orthomosaic? Orthomosaic Maps & Orthophotos Explained*. dronegenuity. <https://www.dronegenuity.com/orthomosaic-maps-explained/>. Diakses pada 9 Maret 2024.
- Eos Positioning Systems 2023. *What is GPS and GNSS Positioning? A GPS Overview (Part 1) - Eos*. <https://eos-gnss.com/knowledge-base/what-is-gps-and-gnss-positioning-gps-overview#difference-gps-gnss>. Diakses pada 12 Maret 2024.
- Estey, L. and Wier, S. 2014. *TEQC Tutorial: Basics of TEQC use and TEQC Products*. USA: UNAVCO.
- Ghilani, C.D. 2010. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis Fifth Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Gumilar, I. dan Bramanto, B. 2021. *Metode Penentuan Posisi dengan GNSS dan Langkah Praktis Pengolahan Data GNSS*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Hadi, B.S. 2007. Dasar-Dasar Fotogrametri. *Dasar Dasar Fotogrametri*. 1–154.
- Hapriansyah, S.A. dan Hidayat, H. 2021. Analisis Perbandingan Ketelitian Hasil Orthomosaic Menggunakan Perangkat Lunak Komersial Pix4Dmapper dan Open Source WebODM Drone. 10(2).
- Hidayat, H. dan Cahyono, A.B. 2023. *UAV-Photogrammetry dengan Agisoft Metashape Professional*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Hidayat, R.N., Sabri, L.M. dan Awaluddin, M. 2019. Analisis Desain Jaring Gnss

- Berdasarkan Fungsi Presisi (Studi Kasus : Titik Geoid Geometri Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip Januari*. 8(1): 48–55.
- Ikhwan, M., Tri Ratnaningsih, A., Lestari, I. dan Ikhsani, H. 2021. Aplikasi Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Untuk Mengidentifikasi Tutupan Hutan Dan Lahan Di Universitas Lancang Kuning. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*. 16(1): 86–101.
- Irawan, F.A. 2012. *Buku Pintar Pemrograman MATLAB: Cara Cepat dan Mudah Mempelajari Pemrograman untuk Penyelesaian Komputasi*. Yogyakarta: MediaKom.
- Kahar, J. 2016. *Geodesi : Teknik Kuadrat Terkecil*. Bandung: ITB Press.
- Kasfari, R., Yuwono, B.D. dan Awaluddin, M. 2018. Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017. *Jurnal Geodesi Undip*. 7(1): 120–130. 3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/19315.
- Kuang, S. 1991. *Optimization and Design of Deformation Monitoring Schemes*. Kanada: University of New Brunswick.
- Kurniawan, I.N., Yuwono, B.D. dan Sabri, L.. 2019. Analisis Pengaruh Multipath dari Topografi Terhadap Presisi Pengukuran GNSS dengan Metode Statik. *Jurnal Geodesi Undip*. 8(1): 10–18.
- Mabrur, A.Y., Sai, S.S. dan Agustina, F.D. 2022. Pemetaan Orthophoto Untuk Rencana Pembuatan Peta Rawan Longsor. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*. 22(1): 408–411.
- Natar, C., Sabri, L.. dan Awaluddin, M. 2020. Analisis Akurasi Model 3 Dimensi Bangunan Dari Foto Secara Tegak Dan Miring (Studi Kasus : Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro). *Geodesi Undip*. 9(1): 354–363.
- Pinatik, N.Y. dan Papilaya, F.S. 2024. Pengolahan Foto Udara Uav (Unmanned Aerial Vehicle) Menggunakan Software Agisoft Metashape. *Jurnal Perangkat Lunak*. 6(1): 1–11.
- Prasidya, A.S., Puspitasari, D.W., Rochman, D.A., Luthitisari, N., Wibowo, F.R., Fahmah, G.Q., Kusuma, I. dan Veherera, P. 2019. Pengenalan Sofatware TEQC. *Universitas Gajah Mada*.
- Ramadhan, M.R., Yuwono, B.D. dan Amarrohman, F.J. 2019. Penentuan Posisi Dan Pergeseran Stasiun Cors Undip Berdasarkan Pengamatan Cors Terikat IGS pada Tahun 2015, 2016 DAN 2017. *Jurnal Geodesi Undip*. 8(1): 456–464.
- Ridwan dan Anhar 2022. Pembuatan Benchmark Berkoordinat Global Berbasis Teknologi GNSS untuk Menunjang Praktikum Survey dan Pemetaan di Kampus PNUP. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*. 7(2): 81–86.

- Siarni, G.A., Ma'ruf, B. dan Atunggal, D. 2021. Optimasi Geometri Jaring GNSS dan RTS untuk Pemantauan Deformasi Kontinu Saluran Induk Kalibawang di Jembatan Talang Bowong, Kabupaten Kulon Progo. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*. 4(2): 110.
- Sidharta, Y.A. 2018. *Analisis Dan Optimasi Desain Jaring Pengamatan Deformasi Di Kota Surabaya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Supriyanto, E. 2019. *Pengolahan DATA Survey UAV dengan Agisoft Metashape*. Denpasar.
- Upiani, I., Magdalena, H. dan Devy, S.D. 2023. Evaluasi Pengukuran Tanda Batas Menggunakan GPS Geodetik Pada IUP PT. Pancaran Surya Abadi. *Journal of Comprehensive Science*. 2(9): 1531–1543.
- Wahyono, E.B. dan Nugroho, T. 2014. Kerangka Dasar Pemetaan. *Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional*. 158.
- Wahyono, E.B. dan Suyudi, B. 2017. Fotogrametri Terapan. *Badan Pertanahan Nasional*. 1–133.
- Widiyanto, K.A., Sabri, L.M. dan Awaluddin, M. 2019. Analisis Desain Jaring Gns berdasarkan Fungsi Kehandalan Internal Dan Kehandalan Eksternal (Studi Kasus : Titik Geoid Geometri Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*. 8(1): 200–207.
- Widjanti, N., Emalia, S.S. dan Parseno 2018. GNSS Monitoring Network Optimization Case Study : Opak Fault Deformation, Yogyakarta. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*. 1(1): 14–21.
- Yakar, M., Ulvi, A., Yigit, A.Y. and Hamal, S.N.G. 2022. *Step By Step Agisoft – Metashape*. Atlas Akademi. Konya: Atlas Akademi.
- Yulaikhah, Pramumijoyo, S. dan Widjanti, N. 2018. Correlation of GNSS Observation Data Quality Resulted from TEQC Checking and Coordinate's Precision. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*. 1(1): 8–13. <https://doi.org/10.22146/jgise.53719>.
- Yuwono, B.D. dan Apsandi, O.A. 2018. Analisis Pengukuran Gns Metode Statik Dengan Variasi Sampling Rate. *Elipsoida : Jurnal Geodesi dan Geomatika*. 1(02): 7–13.