

**PENGARUH JUMLAH TITIK IKAT PADA PENGAMATAN GPS
METODE *RAPID STATIC SHORT BASELINE*
MENGUNAKAN GAMIT TRACK**

(SKRIPSI)

Oleh

**THOMAS AQUINO SUWANTA
1715013015**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**PENGARUH JUMLAH TITIK IKAT PADA PENGAMATAN GPS
METODE *RAPID STATIC SHORT BASELINE*
MENGUNAKAN GAMIT TRACK**

Oleh

THOMAS AQUINO SUWANTA

(Skripsi)

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

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



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH JUMLAH TITIK IKAT PADA PENGAMATAN GPS METODE *RAPID STATIC SHORT BASELINE* MENGUNAKAN GAMIT TRACK

Oleh

THOMAS AQUINO SUWANTA

Penggunaan jumlah titik ikat dan panjang *baseline* yang dipakai pada pengamatan GPS sangat mempengaruhi ketelitian yang diperoleh, karena itu untuk melihat nilai akurasi/ ketelitian dan pengaruh dari masing-masing jumlah titik ikat yang digunakan maka dilakukan penelitian pengaruh jumlah titik ikat yang digunakan pada pengamatan GPS *short baseline*.

Data yang digunakan adalah data pengamatan statik selama 6 jam dan data pengamatan *rapid static* selama 20 menit. Dimana data pengamatan statik digunakan untuk mendefinisikan titik yang digunakan sebagai titik tetap dan titik pengamatan dan juga sebagai data pembanding dari pengamatan *rapid static*. Adapun titik ikat yang digunakan berjumlah 4 buah, yakni ULPC, PKOR, CMPG, SDN3 dan titik pengamatan yang dipakai adalah GGMA dan TNMP. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data adalah perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengolah data pengamatan statik dan GAMIT TRACK untuk mengolah data pengamatan *rapid static*. Adapun panjang *baseline* yang digunakan berjarak kurang dari 10 Km dari titik pengamatan. Metode analisis yang digunakan adalah RMSE_{xy} untuk menentukan nilai akurasi posisi horizontal dan RMSE_z untuk menentukan nilai akurasi posisi vertikal.

Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa jumlah titik ikat yang digunakan berpengaruh terhadap ketelitian yang diperoleh. Dari perhitungan RMSE dapat diketahui bahwa ketelitian horizontal yang dihasilkan pada pengamatan *rapid static* berada pada orde milimeter (mm) sampai sentimeter (cm), yakni sebesar 0,954 cm sampai 0,954 cm dan untuk ketelitian vertikal berada pada orde sentimeter (cm) hingga desimeter (dm), yakni sebesar 3,6 cm sampai 10,943 cm.

Kata kunci : GPS, *rapid static*, *short baseline*, akurasi, GAMIT TRACK

ABSTRACT

EFFECT OF THE NUMBER OF TIE POINTS ON GPS OBSERVATION OF RAPID STATIC SHORT BASELINE METHOD USING GAMIT TRACK

By

THOMAS AQUINO SUWANTA

The use of the number of tie points and the length of the baseline used in GPS observations greatly affects the accuracy obtained, therefore to see the value of accuracy and the effect of each number of tie points used, a study was conducted on the effect of the number of tie points used in GPS short baseline observations. The data used is static observation data for 6 hours and rapid static observation data for 20 minutes. Where static observation data is used to define points used as fixed points and observation points and also as comparison data from rapid static observations. There are 4 tie points used, namely ULPC, PKOR, CMPG, SDN3 and the observation points used are GGMA and TNMP. The software used for data processing is GAMIT/GLOBK software for processing static observation data and GAMIT TRACK for processing rapid static observation data. The baseline length used is less than 10 Km from the observation point. The analysis method used is RMSE_{xy} to determine the horizontal position accuracy value, RMSE_z to determine the vertical position accuracy value. From this research, it was found that the number of tie points used affects the accuracy obtained. From the RMSE calculation, it can be seen that the horizontal accuracy produced in rapid static observations is on the order of millimeters (mm) to centimeters (cm), which is 0.954 cm to 0.954 cm and for vertical accuracy is on the order of centimeters (cm) to decimeters (dm), which is 3.6 cm to 10.943 cm.

Keywords: GPS, rapid static, short baseline, accuracy, GAMIT TRACK

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Skripsi : **PENGARUH JUMLAH TITIK IKAT PADA
PENGAMATAN GPS METODE *RAPID
STATIC SHORT BASELINE* MENGGUNAKAN
GAMIT TRACK**

Nama Mahasiswa : **Thomas Aquino Suwanta**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715013015

Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.
NIP 197203022006041002

Eko Rahmadi, S.T., M.T.
NIP 197102102005011002

2. Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

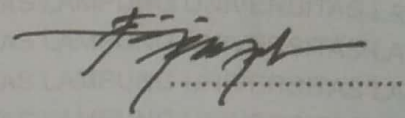
Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

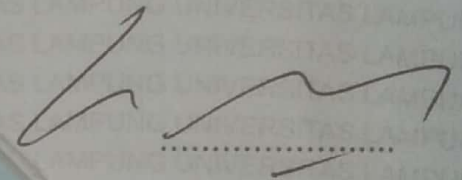
Ketua

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



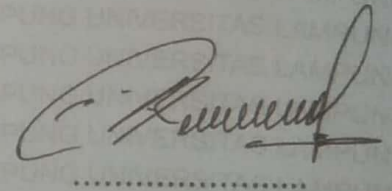
Sekretaris

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



Anggota

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



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 Juni 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Sebagai civitas akademika Universitas Lampung saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Thomas Aquino Suwanta
NPM : 1715013015
Judul Skripsi : Pengaruh Jumlah Titik Ikat Pada Pengamatan GPS Metode *Rapid Static Short Baseline* Menggunakan GAMIT TRACK
Program Studi : Teknik Geodesi
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini bukanlah terjemahan atau saduran sebaliknya, karya tulis ini adalah gagasan murni dan ide saya sendiri, dengan arahan dari dosen pembimbing.
2. Dalam karya tulis ini berisi tulisan atau pendapat yang dibuat atau diterbitkan oleh orang lain dan dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Saya menyerahkan hak milik saya atas karya tulis ini kepada Universitas Lampung, dan oleh karenanya Karya tulis ini dapat dikelola oleh Universitas Lampung sesuai dengan semua hukum dan standar etika yang berlaku.

4. Pernyataan ini saya buat dengan jujur, dan jika di kemudian hari ada penyimpangan atau kebohongan, saya bersedia menerima hukuman atau sanksi akademik sesuai dengan peraturan dan norma yang berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, Juli 2023



Suwanta
Thomas Aquino Suwanta
NPM. 1715013015

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Thomas Aquino Suwanta yang lahir di Belitang, Ogan Komering Ulu Timur pada 28 Januari 2000, Penulis lahir dari pasangan Bapak Samijo dan Ibu Rubinah dan merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Jenjang Pendidikan penulis dimulai dengan menyelesaikan Pendidikan di SD Negeri 1 Sidowaluyo. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Belitang pada tahun 2011-2014 dan Lulus dari SMA Negeri 1 Belitang pada tahun 2017. Kemudian pada tahun 2017 penulis diterima menjadi mahasiswa S1 Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN .

Selama menjadi mahasiswa penulis juga aktif di berbagai organisasi *internal* maupun *external* kampus. Organisasi yang pernah diikuti penulis diantaranya BEM FT UNILA Tahun 2019 sebagai Staf Eksternal, anggota Departemen Kesekretariatan dan Sosial Himpunan Mahasiswa Teknik Geodesi (HIMAGES) FT Unila pada tahun 2018-2020, Staf Kesekretariatan Koperasi Mahasiswa UNILA 2018 dan anggota dari Ikatan Mahasiswa OKU Timur. Pada bulan Januari- Februari 2020, penulis melaksanakan kerja praktik (KP) di Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL dengan judul laporan “Interpretasi Citra *Side Scan Sonar* di Perairan Temajuk, Kalimantan Barat” dan penulis melakukan penelitian skripsi di Kota Bandar Lampung dengan judul “Pengaruh Jumlah Titik Ikat Pada Pengamatan GPS Metode *Rapid Static Short Baseline* Menggunakan GAMIT TRACK” pada tahun 2023 dengan bimbingan Bapak Dr. Fajryanto, S.T, M.T. dan Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T.

PERSEMBAHAN

Puji syukur kupanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa , karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh perjuangan dan pengorbanan, kupersembahkan karya ini dengan bangga kepada:

Kepada Bapak, Ibu dan Adikku yang selalu mendoakan dan mendukung kesuksesan dan keberhasilanku, yang selama ini telah memberikan yang terbaik untukku dan pengorbanan hidup yang tak bisa ku balas dengan apapun.

Kepada diriku sendiri yang selalu percaya akan usaha dan kemampuanku, yang selalu kuat dalam segala kondisi baik senang, sedih maupun kecewa.

Kepada kawan – kawan S1 Teknik Geodesi, D3 Survey Pemetaan, adik tingkat, maupun kakak tingkat yang selalu memberikan dukungan serta bantuannya kepada saya.

MOTTO

This time it ain't just about being fast

(kali ini bukan hanya menjadi cepat) - Dom torento

The caterpillar does all the work, but the butterfly gets all the publicity

(Ulat yang melakukan pekerjaan, tapi cuma kupu-kupu yang disorot) - George
Carlin

Mungkin aku bodoh, tapi aku tidak dungu - Patrick Star

SANWACANA

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Jumlah Titik Ikat Pada Pengamatan GPS Metode *Rapid Static Short Baseline* Menggunakan GAMIT TRACK” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus atas semua bantuan, arahan, dan dukungan yang diberikan berbagai individu selama penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih 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., sebagai Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dengan segala keikhlasan dan kesabarannya, serta memberikan motivasi, kritik dan saran yang dapat membangun dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah membantu dan memberikan rekomendasi penelitian, saran serta kritik dan arahan yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.
5. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng, sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan banyak bimbingan, masukkan serta saran yang dapat membangun dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga selama menuntut ilmu di Gedung Teknik Geodesi.

7. Terkhusus untuk kedua orang tuaku, Bapak Samijo dan Ibu Rubinah dan, tidak lupa seluruh keluarga besar yang telah memberikan semangat, dukungan, motivasi dan kasih sayang yang tulus serta doa yang tiada henti.
8. Teman-teman yang telah membantu pengukuran lapang, Nicolas, Fari, Angga, Aji, Diqi, Rasta atas bantuannya dalam mencari solusi ketika *Human Error* dan suka duka dalam pengukuran lapangan ini.
9. Teman teman seperjuangan S1 Teknik Geodesi dan Geomatika 2017 (Giovani, Sekar, Rasta, Angel, Mia, Iqbal Adi, Ngesti, Okta, Erin, Angga, Indah, Micco, Ilzam, Ananda, Nicolas, Natayya, Gandi, Intan, Ikhbal Yesa, Hidayatus, Aji, Ilyas, Dewi, Malinda, Sidiq, Aqila, Ane, Deni). Terima kasih atas saran, kritik dan motivasi yang kalian berikan selama masa-masa kuliah ini. Senang bisa berjuang bersama kalian, semoga kalian semua sukses.
10. Teman-teman *Fantastic Five*, Pejuang Korona Indonesia, Sesepeuh of UNILA, KMK-FT, serta 17 Garam dan Terang, yang telah menemani serta memberikan dukungan dan semangat.
11. Keluarga Besar D3 Teknik Survei Pemetaan angkatan 2017 yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dan menyemangati selama proses perkuliahan.
12. Keluarga besar Griya 77 yang secara tidak langsung memberikan semangat dan dukungan dalam melakukan pengambilan dan pengolahan data.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah memberikan bantuan, dukungan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal ibadah dan diterima Tuhan Yang Maha Esa. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, Juli 2023

Penulis

Thomas Aquino Suwanta

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
I. PENDAHULUAN.....	1
1 .1. Latar Belakang.....	1
1 .2. Rumusan Masalah	3
1 .3. Tujuan penelitian.....	3
1 .4. Manfaat Penelitian.....	4
1 .5. Ruang Lingkup Penelitian	4
II. LANDASAN TEORI.....	5
2 .1. Penelitian Terdahulu.....	5
2 .2. GPS (<i>Global Positioning System</i>)	7
2 .3. IGS (<i>International GNSS Service</i>).....	9
2 .4. Titik Ikat	10
2 .5. <i>Baseline</i>	10
2 .6. Penentuan Posisi Statik.....	11
2 .7. Penentuan Posisi Statik Singkat	12
2 .8. TEQC (<i>Translation, Editing, Quality Check</i>).....	13
2 .9. GAMIT/ GLOBK	14
2 .10. GAMIT TRACK	15
2 .11. Uji akurasi	16
III. METODE PELAKSANAAN.....	18
3 .1. Lokasi	18
3 .2. Diagram alir penelitian	20
3 .3. Studi Literatur.....	22
3 .4. Persiapan.....	22
3 .5. Akuisisi data	23
3 .6. Konversi data ke <i>RINEX</i>	24
3 .7. Pengecekan data <i>RINEX</i>	24
3 .8. Instalasi <i>Linux</i> dan <i>GAMIT</i>	25
3 .9. Pengolahan data pengamatan statik menggunakan GAMIT/ GLOBK	25
3 .10. Pengolahan data statik singkat menggunakan GAMIT TRACK	28

3 .11. Transformasi Koordinat ke UTM.....	30
3 .12. Uji Akurasi	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4 .1. Hasil cek kualitas data pengamatan menggunakan TEQC.....	32
4 .2. Hasil pengolahan data pengamatan statik menggunakan GAMIT	33
4 .3. Hasil pengolahan data pengamatan statik menggunakan GLOBK	35
4 .4. Hasil pengolahan data statik singkat menggunakan GAMIT TRACK	36
4 .5. Hasil uji akurasi.....	41
V. PENUTUP	47
5 .1. Simpulan.....	47
5 .2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Faktor yang mempengaruhi ketelitian survei GPS.....	2
2. Penelitian terdahulu.....	5
3. Lokasi titik pengamatan GPS.....	18
4. Alat yang digunakan dalam akuisisi data.....	23
5. Hasil uji kualitas data pengamatan statik untuk pendefinisian titik.....	32
6. Hasil uji kualitas data pengamatan statik untuk titik ikat.....	33
7. Hasil uji kualitas data pengamatan <i>rapid static</i>	33
8. Nilai WL (<i>Wide Lane</i>) dan NL (<i>Narrow Lane</i>) hasil GAMIT.....	34
9. Nilai <i>prefit nrms</i> dan <i>posfit nrms</i>	34
10. Koordinat kartesian hasil GLOBK.....	35
11. Koordinat UTM hasil GLOBK.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS.....	7
2. Persebaran stasiun IGS.....	9
3. Penentuan posisi metode statik	12
4. Lokasi penelitian.	19
5. Diagram alir penelitian.....	20
6. Diagram alir penelitian.....	21
7. Tampilan Linux mint.....	25
8. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 1 titik ikat pada stasiun GGMA	37
9. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 2 titik ikat pada stasiun GGMA	37
10. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 3 titik ikat pada stasiun GGMA.....	38
11. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 4 titik ikat pada stasiun GGMA.....	38
12. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 1 titik ikat pada stasiun TNMP	39
13. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 2 titik ikat pada stasiun TNMP	39
14. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 3 titik ikat pada stasiun TNMP	40
15. Hasil plotting koordinat <i>rapid static</i> menggunakan 4 titik ikat pada stasiun TNMP	40
16. Nilai RMSE horizontal berdasarkan jumlah titik ikat.....	41
17. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 1 titik ikat pada stasiun pengamatan GGMA	42
18. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 2 titik ikat pada stasiun pengamatan GGMA	42
19. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 3 titik ikat pada stasiun pengamatan GGMA	43
20. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 4 titik ikat pada stasiun pengamatan GGMA	43

21. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 1 titik ikat pada stasiun pengamatan TNMP	44
22. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 2 titik ikat pada stasiun pengamatan TNMP	44
23. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 3 titik ikat pada stasiun pengamatan TNMP	45
24. Sebaran koordinat pengamatan statik dan <i>rapid static</i> menggunakan 4 titik ikat pada stasiun pengamatan TNMP	45
25. Nilai RMSE vertikal.....	46

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

GPS (*Global Positioning System*) merupakan suatu sistem navigasi dan sistem untuk menentukan lokasi yang sangat populer saat ini, dimiliki dan dikendalikan oleh Amerika Serikat. GPS pada mulanya dirancang guna kepentingan navigasi kendaraan bermotor dan kepentingan militer, utamanya untuk pengaturan peluncuran misil atau peluru kendali. Tujuan utama GPS adalah untuk menyediakan sistem penentuan posisi darat, laut, dan udara untuk tentara amerika dan sekutunya. Namun kemudian sistem GPS (*Global Positioning System*) berkembang dan banyak dipakai di seluruh dunia saat ini untuk menentukan koordinat titik-titik di permukaan bumi dengan tingkat ketelitian yang baik. GPS juga dimanfaatkan dalam berbagai bidang yang memerlukan informasi tentang posisi, percepatan, kecepatan, waktu dan parameter turunannya. Selain itu GPS juga memiliki beberapa kelebihan diantaranya GPS dapat digunakan setiap saat tanpa bergantung waktu dan cuaca, cakupan wilayah yang luas, memberikan ketelitian posisi yang spektrumnya luas (millimeter sampai meter) dan masih banyak lagi (Abidin dkk, 2016). Adapun beberapa metode yang digunakan untuk menentukan posisi atau koordinat dengan menggunakan GPS diantaranya adalah metode statik dan metode statik singkat (*rapid static*), dimana tingkat ketelitian yang diperoleh sangat baik yakni orde milimeter untuk metode statik dan orde sentimeter pada metode pengamatan statik singkat (*rapid static*).

Ketelitian atau keakuratan posisi yang diperoleh dari pengukuran GPS pada umumnya tergantung pada empat faktor, yaitu: geometri pengamatan, akurasi data, strategi pengamatan, dan strategi pengolahan data, seperti tabel berikut

Tabel 1. Faktor yang mempengaruhi ketelitian survei GPS

Ketelitian Data	Jenis data
	Kualitas <i>receiver</i> GPS
	Level dari kesalahan dan bias
Geometri Pengamatan	Lokasi titik
	jumlah titik
	Konfigurasi jaringan
	karakteristik jaringan
	Jumlah satelit
	Lokasi dan distribusi satelit
Strategi Pengamatan	Metode pengamatan
	waktu pengamatan
	lama pengamatan
	Pengikatan ke titik tetap
Strategi pengolahan Data	Perangkat lunak
	Pengolahan awal
	Eliminasi kesalahan dan bias
	pengolahan <i>baseline</i>
	Perataan jaringan
	Kontrol kualitas
	Transformasi koordinat

Dalam merencanakan strategi pengamatan untuk survei GPS perlu mempertimbangkan sejumlah faktor, seperti teknik pengamatan, waktu pengamatan, durasi pengamatan, dan pengikatan titik tetap. Adapun titik tetap yang dimaksud adalah titik ikat yang digunakan sebagai titik kontrol koordinat selama proses menghitung perataan jaring. Secara geometrik penyertaan titik ikat yang bertindak sebagai titik kontrol dalam pengukuran GPS, diharapkan dapat meningkatkan nilai kekuatan jaring (*strength of figure*) sehingga diharapkan dapat meningkatkan ketelitian posisi titik-titik jaring.

Beberapa aspek yang mempengaruhi hasil pengamatan beberapa diantaranya adalah jumlah satelit yang diamati, panjang *baseline*, *multipath*, perilaku saat

survei, dan penentuan titik pusat antena. Ketelitian vektor *baseline* yang dihasilkan dari pengukuran GPS tergantung pada jumlah satelit yang diamati dalam satu sesi, geometri satelit, dan panjangnya *baseline*. Untuk menjaga ketelitian titik-titik dalam jaringan tetap konsisten, distribusi titik harus didesain secara merata dan teratur. Dalam survei GPS, konfigurasi jaringan *baseline* mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran. Dimana semakin panjang *baseline*, akan semakin besar efek kesalahan orbital dan refraksi ionosfer. Berdasarkan uraian diatas peneliti tertarik untuk meneliti tentang pengaruh jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan statik singkat *baseline* pendek dengan memanfaatkan GAMIT TRACK.

1 .2. Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah dari penelitian ini

- a. Bagaimana tingkat ketelitian dari setiap jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan statik singkat *short baseline* ?.
- b. Bagaimana pengaruh jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan statik singkat *short baseline* ?.

1 .3. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Mengetahui tingkat ketelitian untuk setiap jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan statik singkat *short baseline*.
- b. Mengetahui pengaruh masing-masing jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan statik singkat *short baseline*.

1 .4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Memberikan kontribusi dengan memanfaatkan survei GPS terkait pemecahan masalah jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan statik singkat.
- b. Hasil dari penelitian dapat menjadi rekomendasi bagi mahasiswa, peneliti maupun instansi lain untuk mengoptimalkan jumlah titik ikat dan panjang *baseline* pada penelitian ataupun survei GPS yang akan dilakukan.

1 .5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pembahasan dan masalah yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Titik pengamatan yang digunakan berjumlah 6 titik, dimana 4 titik digunakan sebagai titik tetap dan 2 titik digunakan sebagai stasiun pengamatan *rapid static*.
- b. Metode pengamatan yang digunakan adalah metode statik dan statik singkat (*rapid static*).
- c. Lama waktu pengamatan untuk metode statik adalah 6 jam, sedangkan untuk metode *rapid static* adalah 20 menit.
- d. Perangkat lunak TEQC digunakan untuk mengecek kualitas data, sementara perangkat lunak GAMIT/GLOBK digunakan pada pengolahan data statik untuk pendefinisian titik pengamatan, dan GAMIT TRACK untuk pengolahan data *rapid static*.
- e. Titik ikat yang digunakan adalah titik tetap yang sudah diketahui koodinatnya, dengan jarak dari titik pengamatan tidak lebih dari 10 km.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Peneliti menjadikan penelitian-penelitian terdahulu sebagai referensi, baik itu dalam segi ide, tulisan, hal-hal teknis dan lain sebagainya. Penelitian sejenis yang terkait akan dipakai sebagai pertimbangan, acuan dan perbandingan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian yang akan dilakukan. Hal ini bertujuan untuk, memperkaya teori yang akan digunakan dalam proses penelitian.

Tabel 2. Penelitian terdahulu

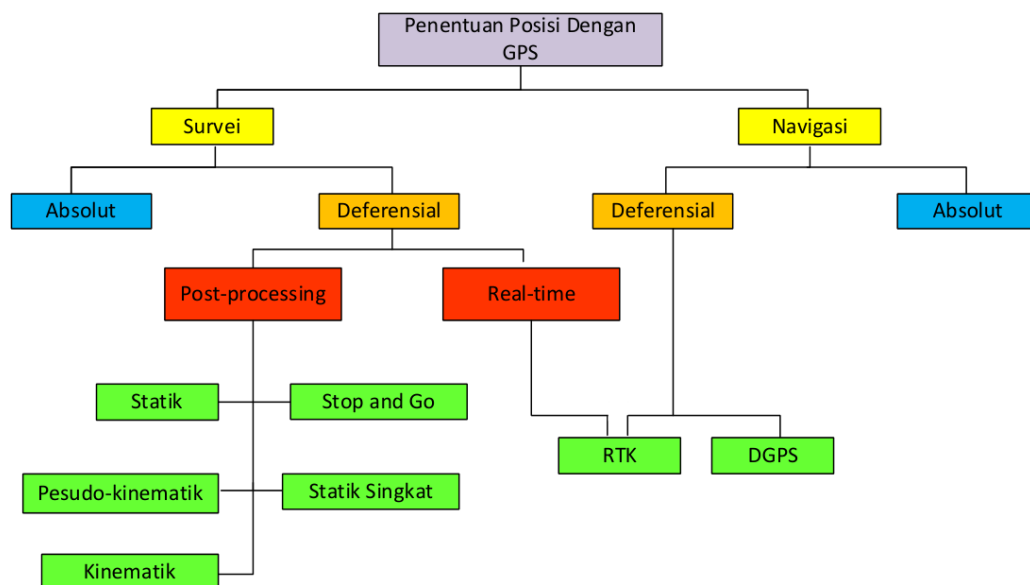
Peneliti	Judul	Metode	Hasil
Bambang Rudianto, Nurul Yahanafia (2013)	Pengaruh Penambahan Jumlah Titik Ikat terhadap Peningkatan Ketelitian Posisi Titik pada Survei GPS	Untuk pengukuran GPS yang menggunakan <i>receiver</i> frekuensi tunggal dan panjang <i>baseline</i> antara 10 km dan 50 km, durasi pengamatan adalah antara 90 dan 180 menit.	Ketelitian posisi horizontal akan meningkat karena banyaknya titik ikat yang digunakan dalam metode perhitungan penentuan posisi survei GPS, tetapi, akurasi dari posisi vertikal akan berkurang.
Hassanudin Z. Abidin dan Fajar T. Mugiarto (2000)	Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survei GPS	Menggunakan parameter-parameter geometri jaringan seperti jumlah dan distribusi dari titik tetap, jumlah	Pada suatu survei GPS, Secara umum karakteristik geometris jaringan termasuk kuantitas dan

		<i>loop</i> dalam jaringan serta konektivitas titik-titiknya	distribusi titik tetap, jumlah loop dalam jaringan, dan koneksi titik akan mempengaruhi tidak hanya nilai koordinat titik dalam jaringan tetapi juga tingkat akurasinya.
Muhammad hairul Iqbal (2017)	Pengaruh Strategi Pengolahan <i>Baseline</i> GPS Berdasarkan Jumlah Titik Ikat dan Variasi Waktu Pengamatan	Membandingkan akurasi koordinat titik pengamatan yang dihasilkan oleh binding dengan jumlah titik ikat yaitu stasiun 3 CORS BIG, 4 CORS BIG, dan IGS dengan perbedaan durasi pengamatan yaitu 12 jam, 18 jam, dan 24 jam	Pengikatan terhadap stasiun CORS BIG memiliki rata-rata nilai standar deviasi yang besar yaitu 40 mm - 50 mm, sedangkan rata-rata nilai standar deviasi yang didapatkan dari pengikatan terhadap stasiun IGS yakni sebesar 3 mm – 1,5 mm
Nicolas Akbar (2022)	Pemanfaatan Software GAMIT TRACK Untuk Pengolahan Data GPS <i>Rapid Static</i> Pada Pengukuran Bidang Tanah	Membandingkan nilai akurasi koordinat yang di peroleh dari pengolahan data menggunakan GAMIT TRACK dan ETS (<i>Electronic Total Station</i>)	Nilai akurasi posisi horizontal yang didapatkan dari perhitungan hasil GAMIT TRACK terhadap hasil perhitungan <i>Electronic Total Station (ETS)</i> sebesar 0,0501 m
Thomas Aquino Suwanta (2023)	Pengaruh Jumlah Titik Ikat Pada Pengamatan GPS Metode <i>Rapid Static Short Baseline</i> Menggunakan GAMIT TRACK	Menggunakan metode <i>rapid static short baseline</i> dengan interval pengamatan 1 detik selama 20 menit	Semakin banyak jumlah titik ikat yang digunakan nilai RMSE horizontal semakin kecil, hal ini membuktikan bahwa jumlah titik ikat yang digunakan

			mempengaruhi nilai ketelitian yang diperoleh
--	--	--	--

2.2. GPS (*Global Positioning System*)

Penentuan posisi menggunakan GPS menggunakan metode reseksi atau pengikatan ke belakang dengan jarak, yakni dengan mengukur jarak simultan (bersamaan) ke beberapa satelit GPS yang sudah diketahui koordinatnya. Selain itu GPS dapat menghasilkan posisi secara langsung (*real-time*) atau sesudah data hasil pengamatan diproses secara *post-processing* guna mendapatkan ketelitian yang lebih baik (Abidin dkk, 2016).



Gambar 1. Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS.

(Sumber: Abidin dkk, 2016)

GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem navigasi radio serta penentuan posisi menggunakan satelit yang dioperasikan oleh amerika serikat. Sistem yang dapat digunakan banyak orang dan segala cuaca ini memiliki nama formal NAVSTAR GPS, yang merupakan akronim dari *NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System* (Abidin, 2001). Abidin (2021) menjelaskan

bahwa sistem GPS (*Global Positioning System*) mempunyai tiga segmen diantaranya,

a. Segmen Angkasa

Segmen angkasa terdiri atas konstelasi satelit-satelit GPS yang mengorbit di angkasa yang mengirim dan menerima sinyal gelombang yang kemudian diterima oleh *receiver* GPS yang berada di/ dekat permukaan bumi, yang selanjutnya digunakan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan posisi, waktu, maupun kecepatan (Abidin, 2001).

b. Segmen sistem kontrol

Menurut Christopher J. Hegarty (dalam Teunissen dan Montenbruck, 2017) segmen sistem kontrol berguna untuk memantau, mengendalikan dan memastikan satelit GPS berfungsi sebagaimana mestinya. Adapun kegunaannya tersebut mencakup beberapa hal yakni,

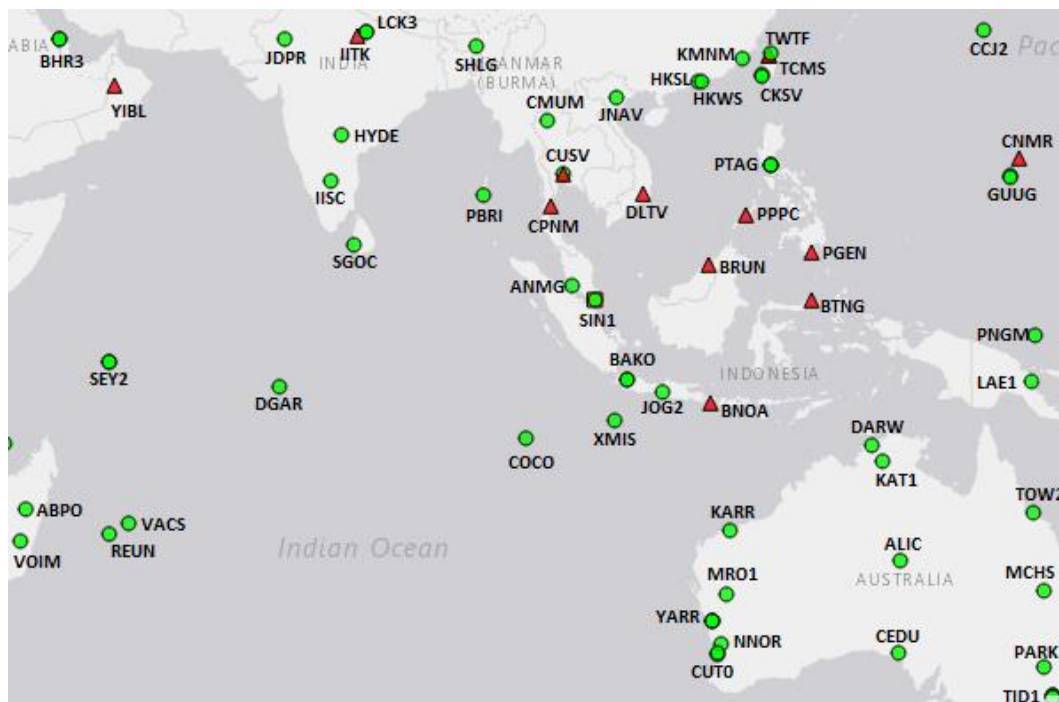
1. Menjaga satelit berada pada masing-masing posisi orbitnya.
2. Memantau kesehatan semua bagian satelit.
3. Memantau panel surya, daya baterai dan manuver satelit.
4. Menentukan dan memprediksi jam atom GPS.

c. Segmen pengguna

Segmen pengguna mencakup seluruh pengguna dari sinyal GPS baik militer ataupun sipil. Dengan GPS penerima yang terhubung ke antena GPS dapat menerima sinyal GPS dan kemudian digunakan untuk menentukan posisi dan waktu secara akurat (Sari, 2022).

2.3. IGS (*International GNSS Service*)

International GNSS Service adalah organisasi yang bertujuan menghasilkan data dan produk GNSS presisi tinggi yang digunakan untuk kepentingan ilmiah dan komersil. IGS merupakan federasi sukarela dari lebih dari 200 lembaga swadaya, universitas, dan lembaga penelitian dari lebih 100 negara . IGS resmi diluncurkan pada 1 Januari 1994 dan menghasilkan produk yang telah berevolusi dari waktu ke waktu, termasuk penyediaan data GNSS untuk konstelasi selain GPS dan penambahan data dan produk GNSS *real-time*. IGS juga mengembangkan dan merilis standar, pedoman, dan konvensi yang berkaitan dengan pengumpulan dan penggunaan data dan produk GNSS kepada publik.



Gambar 2. Persebaran stasiun IGS.

(Sumber: <https://igs.org/network/>)

Tujuan utama IGS ialah menyediakan produk GNSS untuk keperluan ilmiah dan teknik yang melibatkan GNSS. Berikut ini beberapa produk IGS :

- a. Orbit dan jam GNSS.
- b. Parameter orientasi bumi dan koordinat stasiun.

- c. Estimasi bias sistematis.
- d. Parameter ionosfer dan troposfer.

Produk-produk tersebut digunakan untuk mendukung keperluan ilmiah seperti realisasi ITRF, memantau deformasi, pasang surut laut, hidrologi, perubahan permukaan laut, perubahan iklim, dan mendukung penentuan posisi untuk industri dan masyarakat (Teunissen dan Montenbruck, 2017).

2.4. Titik Ikat

Titik ikat dalam survei GPS merupakan titik referensi yang digunakan untuk menghubungkan hasil pengukuran GPS dengan sistem koordinat yang sudah ada sebelumnya (Gurandhi dan Rudianto, 2013). Titik ikat ini ditentukan menggunakan teknik survei penentuan posisi yang lebih akurat dan terukur. Titik ikat dalam pengukuran GPS digunakan untuk memperbaiki akurasi data GPS dari kesalahan, seperti efek *multipath*, efek atmosfer dan penurunan sinyal satelit.

Dalam survei GPS, garis basis (*baseline*) yang diamati secara tidak langsung atau langsung harus terikat dengan titik tetap dari kerangka dasar geodetik yang ada. Dalam hal ini terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

- a. Jangan mengikatkan jaringan/ *baseline* ke titik tetap/ titik ikat yang orde ketelitiannya lebih rendah, sebaiknya titik tetap yang digunakan sebagai titik ikat setidaknya memiliki orde ketelitian yang lebih tinggi.
- b. Sebaiknya titik tetap yang digunakan sebagai titik ikat tersebar secara merata, di mana semakin besar jaringan maka jumlah titik ikat yang digunakan semakin banyak.

2.5. Baseline

Baseline dalam survei GPS merupakan jarak antara dua titik pengukuran/ pengamatan GPS, jarak ini digunakan untuk menentukan posisi titik relatif terhadap titik lainnya. Adapun *baseline* pendek adalah jarak dua titik pengukuran GPS yang

relatif dekat, yakni beberapa meter sampai beberapa kilometer (Abidin dkk., 2016). Sementara *baseline* panjang merujuk pada jarak yang lebih jauh, yakni puluhan kilometer hingga ratusan kilometer. Umumnya pengukuran dengan menggunakan *baseline* pendek dapat memberikan akurasi yang lebih baik daripada menggunakan *baseline* panjang, hal ini dikarenakan pengukuran menggunakan *baseline* pendek lebih sensitif terhadap perbedaan fase sinyal GPS. Akan tetapi pengukuran GPS menggunakan *baseline* panjang dapat memberikan informasi yang berkaitan dengan geodesi, pergerakan lempeng, dan studi topografi.

Pada kegiatan survei GPS, karakteristik *baseline* yang perlu diperhatikan antara lain sebagai berikut,

- a. Dalam sebuah jaringan, semakin banyak *baseline* yang diamati, semakin baik.
- b. *Baseline* yang digunakan dalam suatu jaringan survei GPS sebaiknya memiliki panjang yang tidak terlalu jauh satu sama lain, dikarenakan untuk menjaga homogenitas ketelitian titik pada jaringan GPS.
- c. Jika memungkinkan amati *baseline* antara titik-titik yang berdampingan, hal ini untuk menjaga panjang *baseline* yang pendek agar mendapatkan akurasi yang tinggi.

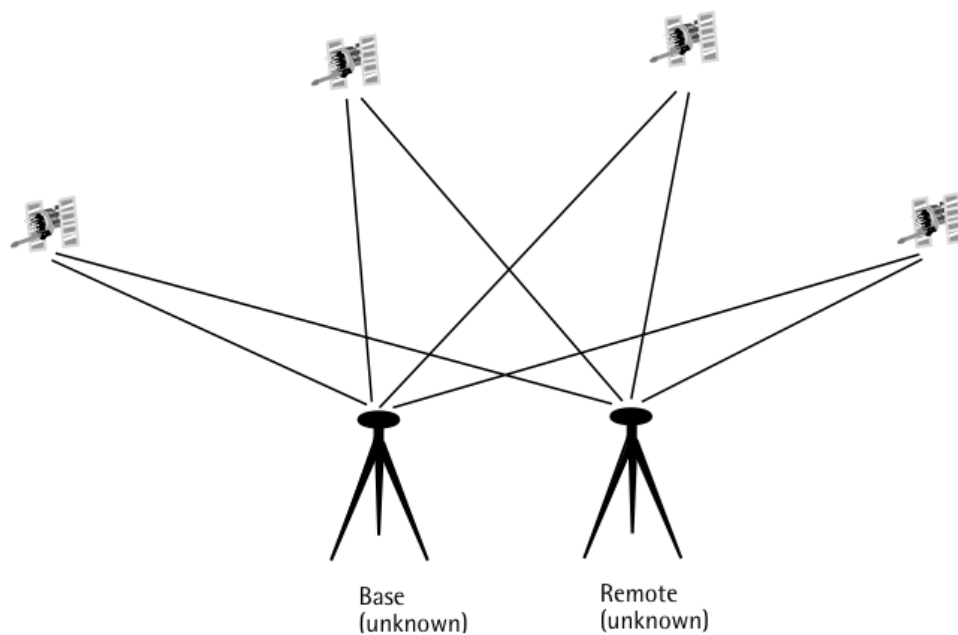
Selain itu Abidin (2016) menjelaskan terdapat beberapa kriteria dalam memilih atau menentukan *baseline* terhadap *baseline* lain, diantaranya

- a. Panjang dari *baseline* relatif lebih pendek.
- b. Waktu yang diperlukan untuk mencapai ujung kedua titik relatif cepat.
- c. Ujung dari kedua titik mudah dicapai.
- d. Memiliki kontribusi yang besar terhadap kekuatan jaring.

2 .6. Penentuan Posisi Statik

Static Positioning atau penentuan posisi statik merupakan penentuan posisi dimana alat penerima (*Receiver*) dalam keadaan diam (Kahar dan Purworahardjo, 2008). Kegiatan penentuan posisi statik memerlukan dua atau lebih alat penerima (*receiver*), satu *receiver* dipasang di atas titik pengamatan yang sudah diketahui

koodinatnya dan *receiver* yang lain dipasang di titik yang koordinatnya dicari (El-Rabbany, 2002). Selama sesi pengamatan statik, diperlukan waktu 30 menit hingga beberapa jam untuk mengumpulkan data dari setidaknya 4 satelit (Sickle, 2008). Penentuan posisi statik dilakukan secara absolut atau diferensial, menggunakan data *pseudorange* dan fase. Adapun ukuran lebih yang didapat dari pengamatan statik lebih baik dari metode kinematik dan orde milimeter sampai sentimeter adalah ketelitian posisi yang didapat dari survei statik. Pada survei statik GPS digunakan moda radial dan moda jaringan untuk mengamati vektor *baseline* (Abidin, 2021).



Gambar 3. Penentuan posisi metode statik

(Sumber : El-Rabbany, 2002)

2.7. Penentuan Posisi Statik Singkat

Statik singkat/ *fast-static* atau yang dikenal dengan *rapid static* adalah teknik penentuan posisi yang mirip dengan survei GPS statik, yakni menggunakan dua atau lebih *receiver* untuk melacak dan mengumpulkan data dari satelit. Namun

hanya *receiver base* yang tetap diam di atas titik yang sudah diketahui koordinatnya selama sesi pengamatan. Sedangkan *receiver rover* tetap diam di atas titik yang tidak diketahui koordinatnya untuk waktu yang singkat (El-Rabbany, 2002; Sickle, 2008). Menurut Abidin (2016) prosedur penentuan posisi menggunakan *rapid static* sama seperti pada survei statik, perbedaannya terletak pada selang waktu pengamatan yang lebih singkat antara 5 sampai 20 menit. Survei statik singkat membutuhkan geometri pengamatan yang baik, tingkat kesalahan yang rendah dan daerah observasi yang tidak menimbulkan *multipath*, oleh karenanya metode *rapid static* digunakan pada *baseline* yang relatif pendek (<10 km) dan ketelitian yang diperoleh dalam orde sentimeter (Abidin, 2021).

Jika metode pengamatan *rapid static*/ statik singkat dibandingkan dengan metode pengamatan statik untuk menentukan suatu posisi, maka perlu diperhatikan beberapa hal, yakni:

- a. Survei menggunakan metode statik menghasilkan ketelitian posisi yang lebih baik dibandingkan survei menggunakan metode statik singkat.
- b. Survei menggunakan metode statik singkat memiliki produktivitas yang lebih baik dari pada survei menggunakan metode survei statik, karena waktu pengamatan yang digunakan lebih singkat.
- c. Metode survei statik singkat kurang fleksibel dibandingkan metode survei statik dalam hal spesifikasi pengamatan, karena harus menentukan ambiguitas fase menggunakan data pengamatan yang sedikit.
- d. Survei menggunakan metode *rapid static* lebih rentan terhadap efek bias dan kesalahan.

2.8. TEQC (*Translation, Editing, Quality Check*)

TEQC adalah program berbasis *command-prompt* yang membantu untuk mengevaluasi data GPS yang harus diproses, TEQC dikeluarkan oleh UNAVCO yang mempunyai fungsi sebagai berikut (L. Estey dan Wier, 2014).

- a. *Translation* digunakan untuk mengubah atau mengonversi data mentah GPS menjadi data *RINEX*.

- b. *Editing and Cut/Splice* digunakan untuk melakukan pengeditan pada data misalnya mengedit, memotong, dan melakukan koreksi dari *RINEX* hasil konversi.
- c. *Quality Check* digunakan untuk melakukan pengecekan terhadap kualitas data pengukuran GPS dengan atau tanpa data *ephemeris*.

TEQC dioperasikan dengan menggunakan baris perintah dan format data yang paling umum digunakan pada TEQC adalah format *RINEX* (L. H. Estey dan Meertens, 1999). Selain itu TEQC bisa digunakan untuk:

- a. *Modify*, mengedit *header RINEX* pada *file RINEX* data pengamatan dan menampilkannya kembali dalam bentuk *RINEX*.
- b. Membuat *file RINEX* baru dengan interval pengamatan yang lebih lama, dari 1 detik hingga 30 detik.
- c. Memeriksa kualitas *file RINEX* menggunakan atau tanpa menggunakan *file ephemeris* atau *file RINEX* navigasi.

2.9. GAMIT/ GLOBK

GAMIT (*GPS Analysis at MIT*) merupakan paket program pengolahan data fase untuk menentukan dan memperhitungkan posisi tiga dimensi dari stasiun pengamatan di bumi, orbit satelit dan parameter orientasi bumi (Floyd, 2022). GAMIT dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) pada tahun 1970-an dan dirancang berjalan pada sistem operasi UNIX. GAMIT merupakan perangkat lunak ilmiah yang menyertakan data stasiun kontinu dari seluruh dunia, seperti IGS. Untuk mengolah data, perangkat lunak GAMIT memerlukan data *input*, yakni (Herring dkk, 2018) :

- a. *Raw data*, yang merupakan data yang berasal dari data observasi atau pengamatan GPS
- b. *File station.info*, data yang berisi informasi stasiun yang diolah seperti, model antena dan *receiver* serta waktu pengamatan dari stasiun yang digunakan.
- c. *File site.defaults*, berisi data yang dipakai untuk mengontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan GAMIT.

- d. *L-file*, berisi data koordinat pendekatan dari stasiun pengamatan dan titik ikat yang digunakan.
- e. *File navigasi*, berisi data berupa *RINEX*, *ephemeris* ataupun *navigation message* dari IGS.
- f. *File sittbl*, data yang digunakan untuk memberikan konstrain pada stasiun pengamatan dan titik ikat.
- g. *File sestbl*, data yang berisi *control table* yang dieksekusi GAMIT.

GLOBK (*Global Kalman filter*) merupakan program yang mengkombinasikan data survei terestris dan ekstra terestris. Kunci dari data *input* GLOBK meliputi matriks kovarian koordinat stasiun, koordinat hasil pengamatan lapangan serta parameter orbit dan rotasi bumi (M. Floyd, 2022). Menurut Herring (2015) terdapat tiga hal yang dapat diaplikasikan menggunakan GLOBK, yakni

- a. Mengkombinasikan hasil pengamatan individu untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan stasiun yang dilakukan lebih dari satu hari
- b. Mengkombinasikan hasil rata-rata selama beberapa tahun untuk menentukan kecepatan stasiun.
- c. Mengestimasi koordinat stasiun pengamatan untuk menghasilkan data beberapa hari atau tahun (*time series*)

Sementara itu perangkat lunak GLOBK tidak dapat melakukan beberapa hal yakni

- a. Membuat atau mengasumsikan model linier, karena banyaknya proses perataan yang dijalankan pada koordinat stasiun dan parameter orbit
- b. Menghilangkan data yang buruk, *cycle slip*, *atmospheric delay modeling errors*.
- c. GLOBK tidak dapat menyelesaikan ambiguitas fase.

2.10. GAMIT TRACK

GAMIT TRACK adalah paket perangkat lunak (modul) pemosisian dinamis dari GAMIT yang digunakan untuk *roving* GPS, seismologi GPS, deformasi singkat,

deformasi episodik dan kontinu (Floyd dkk, 2017). GAMIT TRACK memiliki keunggulan pengoperasian yang sederhana dan tanpa memerlukan sejumlah besar data terlebih dahulu sebelum perhitungan. Algoritma dalam GAMIT TRACK mengatasi masalah ambiguitas dalam pengolahan *real-time* dan *post-processing* untuk penentuan posisi menggunakan data fase.

TRACK memanfaatkan data *Carrier Phase* yang dipancarkan oleh GPS dan data pengamatan *pseudorange* untuk memperkirakan posisi relatif tiga dimensi dari stasiun kontrol darat dan orbit satelit, pengaruh keterlambatan zenith atmosfer, dan parameter orientasi bumi lainnya (Putri, 2020). Di dalam GAMIT TRACK, kunci utama untuk menghasilkan koordinat pengamatan adalah dengan mengatur konfigurasi dari *command file* yang tersedia. Selain itu, juga dibutuhkan *file RINEX* observasi dari stasiun pengamatan yang digunakan serta *file* navigasi (*precise ephemeris or broadcast ephemeris*) (Lu dkk., 2012). Adapun hasil koordinat yang diperoleh adalah koordinat yang sesuai dengan konfigurasi dari *command file*. Hasil akhir dari proses pengolahan data menggunakan TRACK berupa *Processing Summary* dan *file (.LC)*.

2.11. Uji akurasi

Akurasi merupakan tingkat kedekatan ataupun ketepatan informasi dari kuantitas yang diukur dengan nilai yang sebenarnya (Romadhon, 2018). Untuk mengukur tingkat akurasi posisi dapat digunakan analisa *Root Mean Square Error* (RMSE). Menurut Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014, *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan hasil akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data pengamatan dan nilai koordinat dari data yang tingkat akurasinya lebih tinggi. *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah parameter yang dipakai untuk mengevaluasi nilai hasil dari pengamatan terhadap nilai sebenarnya atau nilai yang dianggap benar (Armijon dkk., 2012) Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai RMSE :

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ii})^2 + (y_i - y_{ii})^2}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$RMSE_{xy}$: *Root Mean Square Error* Horizontal

x_i, y_i : koordinat horizontal hasil pengamatan

x_{ii}, y_{ii} : koordinat horizontal yang dianggap benar

n : jumlah pengamatan

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z_{ii})^2}{n}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$RMSE_z$: *Root Mean Square Error* vertikal

z_i : koordinat vertikal hasil pengamatan

z_{ii} : koordinat vertikal yang dianggap benar

n : jumlah data

III. METODE PELAKSANAAN

3.1. Lokasi

Penelitian ini dilakukan di kota Bandar Lampung, dimana pemilihan dan penentuan lokasi titik penelitian memperhatikan beberapa hal, antara lain

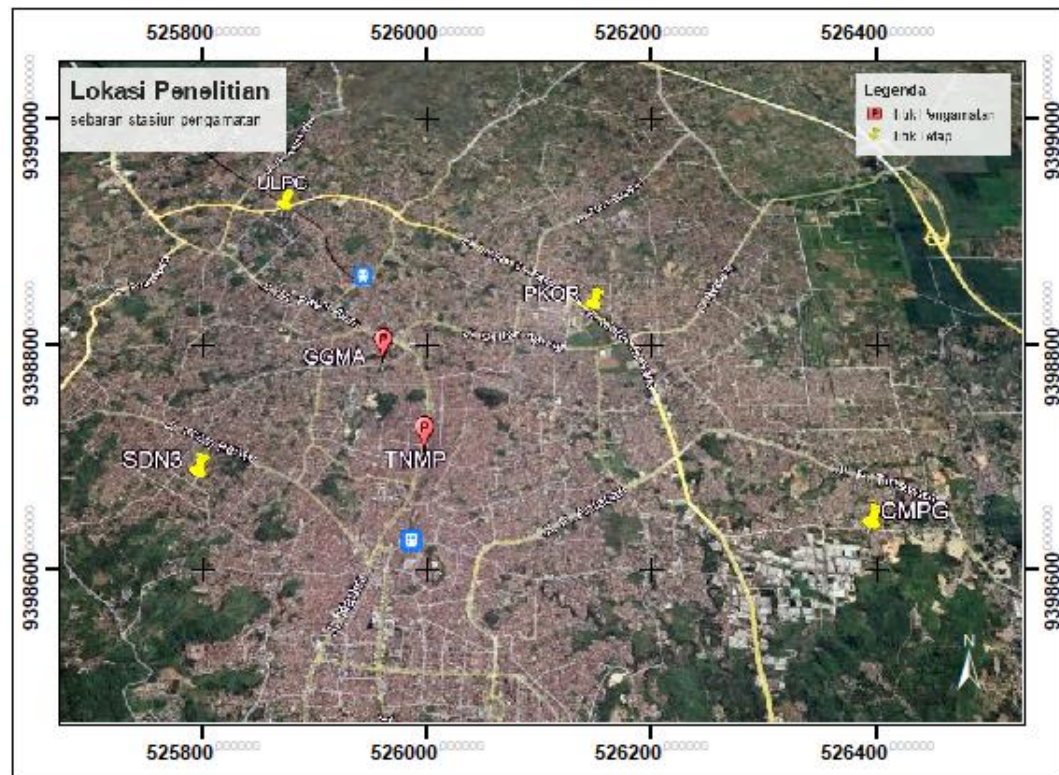
- a. Mempertimbangkan titik yang sudah ada
- b. Memiliki ruang pandang langit yang bebas
- c. Jauh dari objek yang dapat memantulkan sinyal GPS
- d. Kondisi tanah yang stabil
- e. Mudah dicapai dan tidak mudah rusak dan terganggu akibat aktivitas manusia, hewan dan alam

Pada penelitian ini digunakan titik tetap sebagai stasiun *base*, dan titik pengamatan sebagai *rover*, adapun titik tetap dan titik pengamatan terpaut jarak kurang dari 10 km. Lokasi titik tetap dan titik pengamatan dapat di lihat pada tabel berikut

Tabel 3. Lokasi titik pengamatan GPS

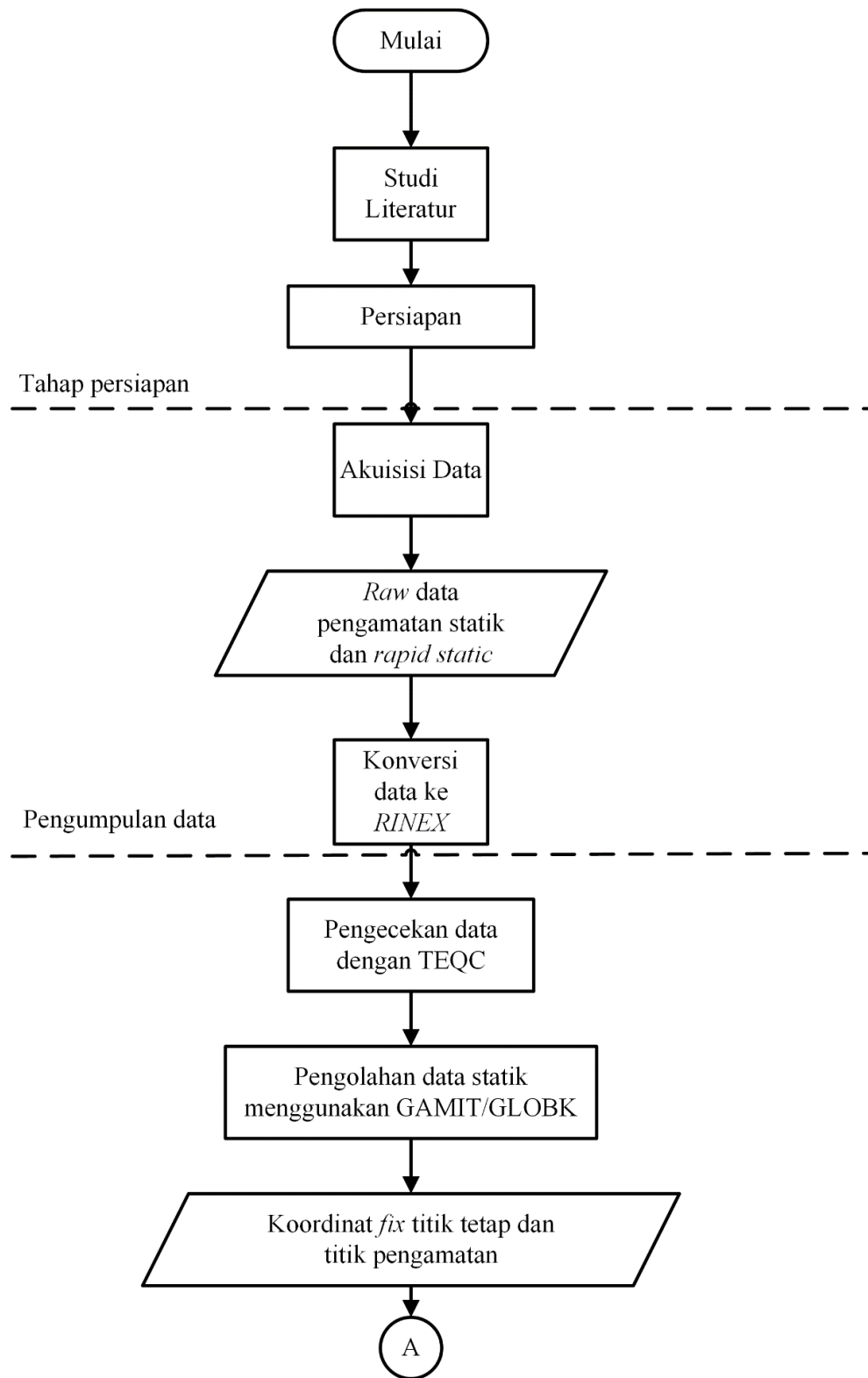
Nama Titik (Stasiun)	Lokasi
Pusat Kegiatan Olahraga (PKOR)	Jl. Minak Tebus Bawang, PKOR, Way Halim, Kota Bandar Lampung, Lampung
Campang Raya (CMPG)	Jl. Alimudin Umar, Campang Raya, Kecamatan Sukabumi, Kota Bandar Lampung, Lampung

SD Negeri 3 Segala Mider (SDN3)	Jl. Sultan Badarudin No.107, Segala Mider, Kecamatan Tanjung Karang Barat, Kota Bandar Lampung, Lampung
Universitas Lampung CORS (ULPC)	Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro, Gedong Meneng, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung
Taman Makam Pahlawan (TNMP)	Jl. Teuku Umar, Surabaya, Kecamatan Kedaton, Kota Bandar Lampung, Lampung
Gedung Graha Mandala Alam (GGMA)	Jl. Pagar Alam No.31, Kedaton, Kecamatan Kedaton, Kota Bandar Lampung, Lampung

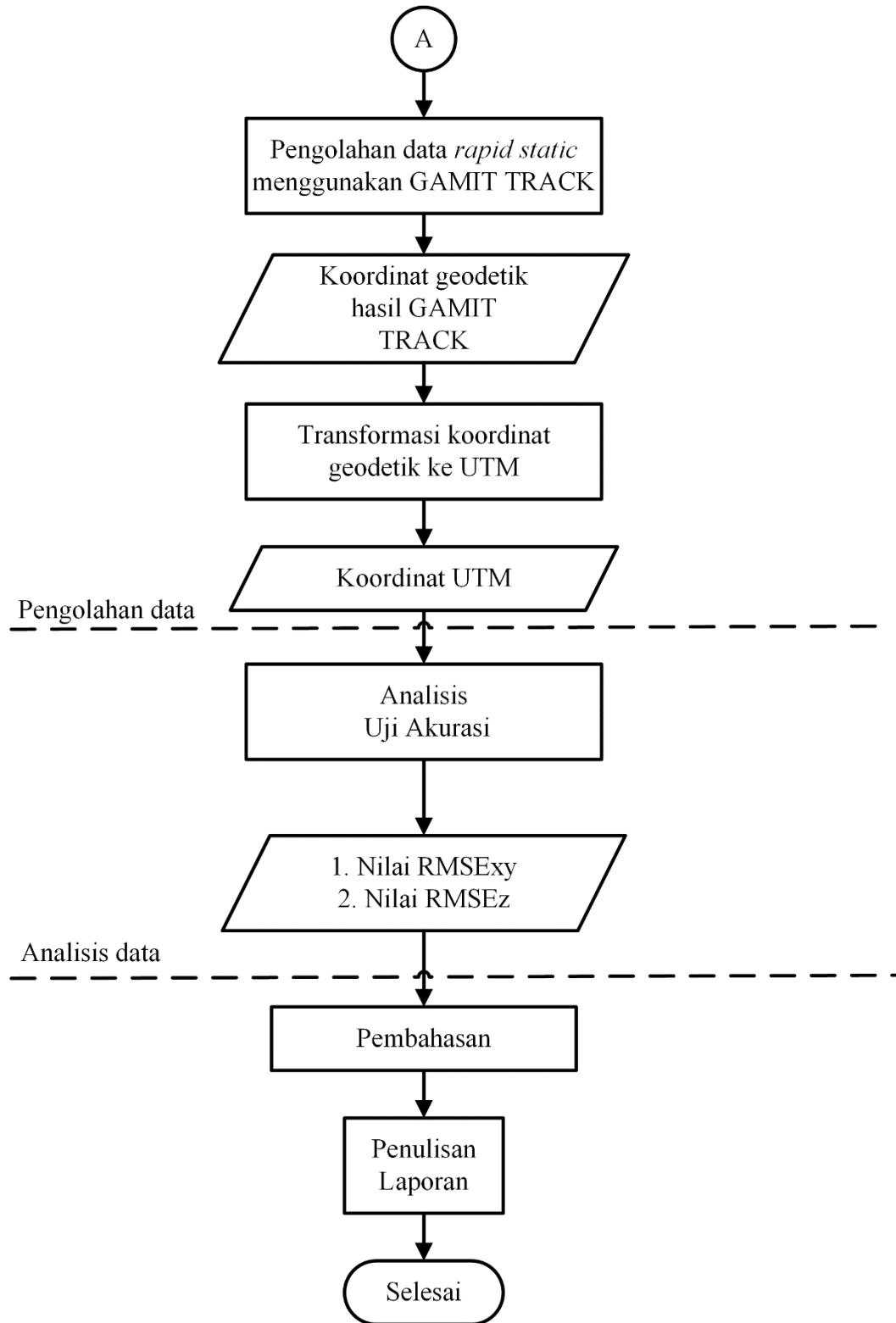


Gambar 4. Lokasi penelitian.
(Sumber : Google Earth Pro)

3.2. Diagram alir penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

3.3. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan mengumpulkan, mempelajari dan menggali informasi-informasi yang berkaitan dengan topik penelitian, yakni GPS (*Global Positioning System*). Adapun sumber yang digunakan dalam studi literatur ini berupa buku, jurnal, skripsi, dan video pembelajaran. Dari studi literatur ini didapatkan informasi yang membantu kegiatan penelitian.

3.4. Persiapan

Tahap persiapan pada penelitian ini meliputi survei lokasi yang akan digunakan sebagai titik pengamatan dan titik ikat, selain itu juga meliputi peminjaman alat yang digunakan untuk mengambil data, mengurus surat izin untuk menggunakan lokasi pengambilan data pengamatan GPS (*Global Positioning System*), dan teknis pengukuran dan pengambilan data. Untuk peralatan yang digunakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Alat yang digunakan dalam akuisisi data

No.	Alat	Kegunaan
1	<i>Receiver</i> GPS HIT V30	Penerima sinyal GPS
2	<i>Receiver</i> GPS HIT V60	Penerima sinyal GPS
3	<i>Receiver</i> GPS CHC N 72	Penerima sinyal GPS
4	Tripod/ Statif	Tempat berdiri <i>receiver</i> GPS
5	<i>Tribrach</i>	Tempat memasang <i>receiver</i> GPS
6	Meteran	Mengukur tinggi alat
7	Catu daya/ aki	Sumber listrik untuk <i>charge</i> baterai alat
8	<i>Handphone</i>	Alat komunikasi
9	Laptop	Media pengolahan data
10	<i>Linux Mint 20.3 Cinnamon</i>	Pengoperasian GAMIT/TRACK
11	<i>Software CHC Geomatics Office</i>	Konversi data pengamatan CHC N 72 ke <i>RINEX</i>
12	<i>Software Hi-Target Geomatics Office</i>	Konversi data pengamatan HIT V30 dan HIT V60 ke <i>RINEX</i>
13	<i>Software GAMIT/GLOBK & TRACK</i>	Perangkat lunak pengolahan data ilmiah
14	<i>Software TEQC</i>	<i>Quality checking</i> data <i>RINEX</i>
15	<i>Python 3.10</i>	Transformasi koordinat geodetik ke UTM
16	<i>Microsoft Office</i>	Pembuatan laporan dan pengolahan data

3.5. Akuisisi data

Akuisisi data bertujuan untuk mengumpulkan data pengamatan GPS, dimana metode pengamatan yang digunakan adalah metode statik dan statik singkat (*rapid static*). Untuk metode pengamatan statik dilakukan selama 6 jam dan untuk metode pengamatan statik singkat (*rapid static*) dilakukan selama 20 menit. Proses akuisisi data ini menggunakan *mask angel* sebesar 15° dan interval perekaman untuk pengamatan statik adalah 30 detik dan interval perekaman yang digunakan untuk pengamatan *rapid static* adalah 1 detik. Adapun *receiver* GPS yang digunakan adalah 2 buah *receiver* Hi-Target V30, 2 buah *receiver* Hi-Target V60 dan 1 buah CORS ULPC yang menggunakan *receiver* CHCNAV N72. Data yang didapatkan adalah data *raw* berupa *GNS file* dari *receiver* Hi-Target dan *HCN file* dari *receiver*

CORS ULPC. Selain itu diperlukan juga data *file Navigation Message Broadcast*, *file RINEX* stasiun IGS yang dijadikan titik ikat (PGEN, ALIC, ANMG, CIBG, BAKO, COCO, DARW, DGAR, HKWS, HYDE, SIN1, KARR, PNGM, PTGG, XMIS, YARR) dan *file satellite Precise Ephemeris*.

3.6. Konversi data ke *RINEX*

Konversi data ini bertujuan untuk mengubah data mentah hasil pengamatan ke dalam format *RINEX*, adapun perangkat lunak yang digunakan untuk mengkonversi data ini ialah *Hi-Target Geomatics Office* dan *CHC Geomatics Office*. Pada saat melakukan konversi perlu memasukan data penting seperti versi *RINEX*, nama titik, tinggi alat (*slant, vertical, receiver bottom, antena bottom, atau phase center*), interval perekaman, waktu awal perekaman dan waktu akhir perekaman. Dari tahap konversi data ini dihasilkan dua data yakni data observasi dan data navigasi.

3.7. Pengecekan data *RINEX*

Pengecekan data *RINEX* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak TEQC. Adapun tujuan pengecekan data *RINEX* ini adalah untuk mengetahui nilai *multipath* dari data hasil pengamatan. Selain itu juga diperoleh informasi berupa interval perekaman, rentang waktu perekaman, jumlah satelit dan informasi lainnya. Pada proses pengecekan data *RINEX* dengan TEQC dibutuhkan data *file* observasi dan *file* navigasi, kemudian di proses dengan menggunakan perintah sebagai berikut

```
teqc +qc -nav <file observasi> <file navigasi>
```

Dari proses tersebut dihasilkan nilai MP12 dan MP21 yang menunjukkan nilai *multipath*, dimana data dikatakan baik apabila nilai MP12 dan MP21 kurang dari 5.

3.8. Instalasi *Linux* dan *GAMIT*

Sistem operasi linux yang digunakan adalah *Linux Mint 20.3 Cinnamon* yang menggunakan *package base Ubuntu Focal*, agar mempermudah aksesibilitas terhadap perangkat lunak yang bekerja di *windows 11* maka digunakan instalasi *dual boot*, dimana ada dua operasi sistem yang bekerja yakni *linux* dan *windows*. Sementara instalasi perangkat lunak *GAMIT* dilakukan setelah instalasi *linux* berhasil. Instalasi *GAMIT* dilakukan dengan menggunakan *terminal linux* dan membutuhkan *file source* dari *GAMIT*.



Gambar 7. Tampilan *Linux mint*.

(Sumber : <https://linuxmint.com/>)

3.9. Pengolahan data pengamatan statik menggunakan *GAMIT/ GLOBK*

Setelah melakukan cek kualitas data pengamatan, selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan *GAMIT/ GLOBK*. Adapun tahapan pengolahan data menggunakan *GAMIT/ GLOBK* adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan direktori kerja

Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan GAMIT, terlebih dahulu membuat direktori kerja yang berisi beberapa folder, antara lain :

1. Folder *RINEX*, berisi data *RINEX* pengamatan dan data *RINEX* dari titik ikat yang digunakan. *File RINEX* titik ikat IGS dapat diunduh secara otomatis dengan menggunakan perintah “sh_get_rinex -archive sopac cddis unavco -yr (yyyy) -doy (ddd) -ndays (num) -sites (4 characters IGS site)”. Adapun data *RINEX* stasiun IGS yang digunakan adalah PGEN, ALIC, ANMG, CIBG, BAKO, COCO, DARW, DGAR, HKWS, HYDE, SIN1, KARR, PNGM, PTGG, XMIS, dan YARR.
2. Folder IGS, berisi *file precise ephemeris* (orbit satelit) dengan format *.sp3 dan dapat diunduh menggunakan perintah “sh_get_orbits -archive sopac -yr (yyyy) -doy (ddd) -ndays (num) -orbits igsf”.
3. Folder BRDC, berisi *file navigasi* atau *broadcast ephemeris* yang dapat diunduh “sh_get_nav -archive sopac -yr (yyyy) -doy (ddd) -allnav” dan menghasilkan *file* berformat *.yyn.

2. Link folder Tables dan editing File Control

Folder tables pada instalasi GAMIT harus di link ke *folder project* pengolahan sesuai dengan tahun pengamatan dengan perintah “sh_setup -yr (yyyy)”.

3. *Update file Tables* berdasarkan tahun pengamatan
4. *Automatic batch Processing* GAMIT
5. Persiapan pengolahan menggunakan GLOBK
6. Pengolahan menggunakan GLRED dan GLOBK

Pengolahan GAMIT dapat dijalankan dengan *automatic batch processing* dengan perintah :

```
sh_gamit -expt (expt) -d yyyy doy -pres ELEV -orbit IGSF
```

keterangan :

- (expt) : nama direktori yang digunakan pada pengolahan
 -d : digunakan pada pengamatan dalam satu hari
 yyyy : tahun pengamatan data yang diolah

doy	: <i>Day of Years</i> data pengamatan yang diolah
-pres	: digunakan untuk plot residu sebagai <i>sky plot</i>
ELEV	: digunakan opsi untuk plot residu dan fase <i>elevation</i>
IGSF	: jenis orbit yang digunakan dalam pengolahan

File hasil yang diperoleh dari pengolahan data menggunakan GAMIT adalah *folder* GAMIT adalah *folder* sebanyak *doy* yang diolah. Setiap *folder doy* menghasilkan beberapa *file*, yakni

- H-file*, berisi *file* nilai penyesuaian dan nilai matriks varian-kovarian dari titik-titik pengamatan maupun stasiun *base* yang digunakan. *H-file* ini akan digunakan untuk pengolahan data dengan GLOBK.
- Q-file*, memuat semua hasil informasi hasil pengolahan data pengamatan yang disajikan dalam dua versi *Biases-free Solution* dan *Bias-fixed Solution*.
- Sh_gamit.summary*, yakni *file* rangkuman dari pengolahan GAMIT, dan juga parameter yang menjadi acuan kontrol pengolahan.

Pada pengolahan GLOBK dilakukan *editing* pada *file globk.cmd* dan *glorg.cmd*, dimana pada *prt_opt* dan *opt_prt* ditambahkan opsi UTM dan BLEN yang digunakan untuk memperoleh output koordinat UTM dan panjang *baseline*. Pengolahan GLOBK dapat dijalankan menggunakan perintah :

```
sh_glred -expt (expt) -d yyyy doy -opt H G T
```

keterangan :

(expt)	: nama direktori yang digunakan pada pengolahan
-d	: digunakan pada pengamatan dalam satu hari
yyyy	: tahun pengamatan data yang diolah
doy	: <i>Day of Years</i> data pengamatan yang diolah
H	: konversi file-file ASCII yang dihasilkan dari GAMIT ke <i>file-H binner</i> sebagai <i>file input</i> ke GLOBK menggunakan <i>htoglb</i> .
G	: opsi untuk menjalankan <i>glred</i> untuk kombinasi atau pengulangan
T	: membaca <i>output file</i> solusi dari GLOBK dan <i>plot</i> seri waktu.

Dari pengolahan GLOBK dihasilkan *file-org* yang berisi koordinat toposentrik (*north, east, up*) dan koordinat geosentrik (X,Y,Z) beserta standar deviasi dari setiap titik pengamatan.

3.10. Pengolahan data statik singkat menggunakan GAMIT TRACK

Pada penolahan data menggunakan GAMIT TRACK memerlukan beberapa *file*, antara lain

1. *file RINEX* observasi (*.yyo) dari titik/ stasiun pengamatan maupun stasiun yang dijadikan titik ikat.
2. *File ephemeris* (*.sp3), yaitu *file* yang berisi informasi data catatan orbit dan jam dari konstelasi GPS
3. *File Ionex* (*.yyi), yakni *file* yang menyimpan informasi ionosfer untuk pengolahan data GPS
4. *File Command Prompt* (*.cmd), yakni *file* yang berisi pilihan atau opsi yang digunakan untuk menjalankan TRACK
5. *File ambin* (*.amb), yakni *file* yang berisi nilai bias parameter pada pengolahan

Untuk menjalankan program TRACK diharuskan untuk memilih dan mengedit *file Command Prompt*. Adapun pilihan atau opsi yang harus diisi pada pengolahan data statik singkat adalah sebagai berikut,

1. OBS_FILE, yakni bagian yang digunakan untuk menentukan titik *fix* dan titik Kinematik, adapun titik *fix* adalah stasiun yang digunakan untuk *base/* titik ikat sedangkan titik kinematik adalah stasiun yang digunakan sebagai stasiun pengamatan.
2. NAV_FILE, merupakan bagian yang digunakan untuk memasukan *file broadcast ephemeris* yang akan digunakan.
3. MODE, yakni bagian untuk menentukan panjang *baseline* dimana “SHORT” digunakan untuk panjang *baseline* kurang dari 10 km, sementara “LONG” digunakan untuk panjang *baseline* lebih dari 10 km.
4. SITE POS, bagian ini digunakan untuk menentukan koordinat pendekatan atau *apriori coordinates* dari stasiun yang digunakan

5. SITE_STAT, digunakan untuk menentukan nilai titik posisi awal dan nilai perubahan titik.
6. INTERVAL, merupakan bagian yang digunakan untuk memasukan nilai interval perekaman data.
7. OUT_TYPE, merupakan bagian yang digunakan untuk menentukan tipe koordinat yang dihasilkan.

TRACK merupakan program GAMIT yang digunakan untuk mengolah data pengamatan GPS dengan metode kinematik. Untuk menjalankan TRACK digunakan perintah sebagai berikut:

Track -f (*file.cmd*) -d (*day of year*)

Dalam pengolahan data menggunakan program TRACK terdapat tiga proses yakni penyesuaian posisi (*adjustment position*), penentuan ambiguias fase, dan penentuan koordinat final.

Pada penelitian ini digunakan beberapa skenario pengolahan data menggunakan GAMIT TRACK , adapun skenario tersebut dibuat berdasarkan jumlah titik ikat yang digunakan pada pengolahan data pada titik pengamatan GGMA (Gedung Graha Mandala Alam) dan TNMP (Taman Makam Pahlawan). Skenario tersebut dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

1. Skenario 1

Pada skenario pertama digunakan 1 titik ikat, dimana stasiun pengamatan GGMA (Gedung Graha Mandala Alam) dan TNMP (Taman Makam Pahlawan) akan diikatkan dengan stasiun ULPC (Universitas Lampung CORS) yang berjarak 4,522 km dari stasiun pengamatan TNMP dan 3,01 km dari stasiun pengamatan GGMA.

2. Skenario 2

Pada skenario kedua digunakan 2 titik ikat. Stasiun pengamatan GGMA (Gedung Graha Mandala Alam) dan TNMP (Taman Makam Pahlawan) akan diikatkan dengan stasiun ULPC (Universitas Lampung CORS) dan CMPG

(Campang Raya). Adapun stasiun pengamatan CMPG berjarak 6,332 km dari stasiun pengamatan GGMA dan 5,355 km dari stasiun pengamatan TNMP.

3. Skenario 3

Pada Skenario ketiga digunakan 3 titik ikat. Stasiun pengamatan GGMA (Gedung Graha Mandala Alam) dan TNMP (Taman Makam Pahlawan) akan diikatkan dengan stasiun ULPC (Universitas Lampung CORS), CMPG (Campang Raya), dan SDN3 (SDN 3 Segala Mider). Dimana stasiun SDN3 berjarak berjarak 2,791 km dari stasiun pengamatan TNMP dan berjarak 2,854 km dari stasiun pengamatan GGMA.

4. Skenario 4

Pada Skenario keempat digunakan 4 titik ikat. Stasiun pengamatan GGMA (Gedung Graha Mandala Alam) dan TNMP (Taman Makam Pahlawan) akan diikatkan dengan stasiun ULPC (Universitas Lampung CORS), CMPG (Campang Raya), SDN3 (SDN 3 Segala Mider), dan PKOR (Pusat Kegiatan Olahraga). Dimana Stasiun PKOR (Pusat Kegiatan Olahraga) berjarak 3,006 km dari stasiun pengamatan TNMP dan bejarak 2,824 km dari stasiun GGMA.

3.11. Transformasi Koordinat ke UTM

Transformasi koordinat ini digunakan untuk merubah sistem koordinat geodetik hasil GAMIT TRACK ke koordinat UTM (*Univesal Transverse Mercator*). Proses transformasi koordinat ini dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman *Python 3.10*. Sebelum melakukan proses transformasi perlu dilakukan pemasangan *package pandas 1.5.3* dan *openpyxl 3.1.2* yang digunakan untuk membaca *file excel* dan menulis hasil transformasi kedalam bentuk *excel*. Selain itu diperlukan juga *package utm 0.7.0* untuk mentransformasikan koordinat dari geodetik ke UTM (*Univesal Transverse Mercator*).

3.12. Uji Akurasi

Uji *Root Mean Square Error* (RMSE) dilakukan untuk menentukan tingkat akurasi dari hasil pengamatan *rapid static* terhadap pengamatan statik. Adapun uji RMSE dilakukan menggunakan perangkat lunak *microsoft excel 2016* dan data yang digunakan adalah data hasil pengolahan GAMIT/GLOBK dan GAMIT TRACK yang sudah di transformasikan ke koordinat UTM (*Univesal Transverse Mercator*). Nilai RMSE yang dicari adalah nilai RMSE_{xy} untuk memperoleh ketelitian horizontal dan nilai RMSE_z untuk memperoleh ketelitian vertikal.

V. PENUTUP

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh jumlah titik ikat yang digunakan dalam pengamatan *rapid static short baseline* dengan memanfaatkan GAMIT TRACK yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Semakin banyak titik ikat yang digunakan pada penelitian ini, maka nilai RMSE horizontal yang diperoleh semakin kecil.
2. Dari hasil uji statistik yang telah dilakukan, menunjukkan adanya pengaruh dari jumlah titik ikat yang digunakan terhadap ketelitian posisi horizontal maupun ketelitian posisi vertikal.
3. Pengamatan GPS menggunakan metode *rapid static short baseline* menghasilkan ketelitian atau akurasi posisi horizontal pada orde milimeter (mm) hingga sentimeter (cm), hal itu dapat dilihat dari nilai RMSE_{xy}, dimana nilai terkecil yang diperoleh adalah 0,95 cm dan nilai terbesar adalah 1,85 cm.
4. Nilai akurasi posisi vertikal atau RMSE_z yang diperoleh dari pengamatan *rapid static short baseline* berada pada orde sentimeter (cm) hingga desimeter (dm), nilai terkecil yang diperoleh adalah 3,60 cm dan nilai terbesar adalah 10,94 cm.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disampaikan beberapa saran antara lain :

1. Jumlah titik ikat yang digunakan sangat berpengaruh terhadap akurasi hasil pengamatan GPS, maka perlu dilakukan penambahan beberapa jumlah titik ikat pada pengamatan GPS.
2. Pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak GAMIT TRACK, maka perlu dilakukan pengolahan dan analisis data menggunakan perangkat lunak lain, baik perangkat lunak ilmiah maupun perangkat lunak komersial.
3. Kualitas data dan pengikatan ke titik tetap mempengaruhi nilai ketelitian data yang diperoleh, maka perlu dilakukan pengecekan kualitas data dan penentuan strategi pengikatan ke titik ikat sebelum melakukan pengolahan data
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat mencari faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan hasil dari jumlah penggunaan titik ikat yang dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2001). *Geodesi Satelit*. PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2021). *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. ITB-Press.
- Abidin, H. Z., Jones, A., dan Kahar, J. (2016). *Survei Dengan GPS*. ITB Press.
- Abidin, H. Z., dan Mugiarto, F. T. (2000). Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey GPS. *Jurnal Surveying dan Geodesi*, 10(1), 1–15.
- Akbar, N. (2022). *Kajian Penerapan Pengukuran GPS Metode Rapid Static Menggunakan GAMIT TRACK Pada Pengukuran Bidang Tanah*. Universitas Lampung.
- Armijon, Yohanes, dan Dewi, C. (2012). *Analisis Ketelitian Koreksi Geometrik Data Quickbird Pesisir Teluk Lampung Menggunakan GPS Receiver Tipe Navigasi*. Universitas Lampung.
- Chairul Ikbal, M., Darmo Yuwono, B., dan Janu Amarrohman, F. (2017). Analisis Strategi Pengolahan Baseline Gps Berdasarkan Jumlah Titik Ikat Dan Variasi Waktu Pengamatan. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 228–237.
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS*. Artech House.
- Estey, L. H., dan Meertens, C. M. (1999). TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data. *GPS Solutions*, 3(1), 42–49. <https://doi.org/10.1007/PL00012778>
- Estey, L., dan Wier, S. (2014). *Teqc Tutorial: Basics of Teqc Use and Teqc Products*. UNAVCO Inc. www.unavco.org
- Floyd, M. (2022). *GAMIT/GLOBK*. <http://geoweb.mit.edu/gg/>
- Floyd, M. A., Herring, T. A., dan King, R. W. (2017). *Examples using track* (Nomor June). UNAVCO Headquarters.
- Gurandhi, M. F., dan Rudianto, B. (2013). Evaluasi Spesifikasi Teknik pada Survei GPS. *Reka Geomatika - Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Bandung*, 1(2), 109–118.
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., dan Mcclusky, S. C. (2018). *GAMIT Reference Manual Release 10.7* (Nomor June). Massachusetts Institute of

Technology.

- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., dan McClusky, S. C. (2015). *GLOBK Reference Manual Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Release 10.7* (Nomor June). Massachusetts Institute of Technology.
- Kahar, J., dan Purworahardjo, U. (2008). *Geodesi*. ITB Press.
- Lu, B., Jin, J. ingp, Duan, W. yi, Chen, L. jin, dan Guan, H. ye. (2012). Research of GPS signal multipath effects based on GAMIT TRACK. *Advanced Materials Research*, 588–589, 912–919. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.588-589.912>
- Putri, C. A. (2020). *Analisis Perubahan Baseline Gunung Tangkuban Parahu Menggunakan Data Pengamatan GPS Pada Erupsi 7 September 2019*. Institut Teknologi Nasional.
- Romadhon, R. (2018). *Analisis Ketelitian Hasil Pengamatan Gnss Berdasarkan Metode Dan Lama Pengukuran Ground Control Point (Studi Kasus : Kota Surabaya)*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Rudianto, B., dan Yuhanafia, N. (2013). Pengaruh Penambahan Jumlah Titik Ikat terhadap Peningkatan Ketelitian Posisi Titik pada Survei GPS. *REKA GEOMATIKA, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1(2), 80–89.
- Sari, A. (2022). *Modul Praktikum Survey GNSS*. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika.
- Sickle, J. Van. (2008). *GPS for Land Surveyors* (Third Edit). CRC Press.
- Teunissen, P. J. ., dan Montenbruck, O. (2017). *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer.