

PEMANTAUAN PERGERAKAN TANAH MENGUNAKAN GPS GEODETIK LANJUT



Sugeng Raharjo, dkk

PEMANTAUAN PERGERAKAN TANAH MENGUNAKAN GPS GEODETIK LANJUT

Penulis

Sugeng Raharjo

Oktavia Dewi Alfiani

Eko Teguh Paripurno

Dessy Apriyanti

ISBN : 978-602-19765-6-2

Editor

Noor Akhila Luckyta Hartadi

Penyunting

C. Prasetyadi

Disain sampul dan Tata letak

Taufiq Ihsanudin

Ukuran Buku

A5 (14,8 cm × 21 cm)

Penerbit

Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”
Yogyakarta

Redaksi

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Jalan Padjadjaran No.104, Lingkar Utara Condong Catur Yogyakarta

Gedung Arie F. Lasut, Lantai 1

Telp: 0274 487814

Email : ftm@upnyk.ac.id

Cetakan pertama : Nopember 2018

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara
apapun tanpa ijin dari tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkah rahmat dan barokahNya sehingga kami tim penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul: PEMANTAUAN PERGERAKAN TANAH MENGGUNAKAN GPS GEODETIK. Buku ini mencakup tentang Teori Dasar Gps, Proses Pengambilan Data, dan Perhitungan Data sehingga diharapkan lebih mudah dan cepat bagi pembaca untuk memahami sekaligus mengetahui proses pengukuran pergerakan tanah dengan GPS.

Buku ini kami susun terutama untuk kalangan mahasiswa dan masyarakat umum yang tertarik dengan gerakan tanah. Buku ini tidak hanya mencakup teori saja namun juga aplikasi dan tahapan untuk memproses data dengan *software*, serta dilengkapi urutan perhitungan.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada LPPM Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang memberi semangat sehingga bisa menyelesaikan buku ini.

Yogyakarta, Nopember 2018

DAFTAR ISI

JUDUL.....	4
PENGERTIAN GPS	4
RUMUS-RUMUS.....	20
PELAKSANAAN PENGUKURAN	26
TAHAPAN PELAKSANAAN SURVEI GPS	31
PERHITUNGAN	31
1. Pemrosesan Awal.....	32
2. Pengolahan Baseline	33
3. Perataan Jaringan.....	36
HASIL PERHITUNGAN.....	38
1. Hasil koordinat X Y Z.	38
2. Ketelitian komponen X, Y dan Z	40
3. Nilai Pergerakan Horizontal dan Vertikal	43
4. Hasil Analisis Pergerakan Horizontal dan Vertikal	51
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tiga segmen teknologi GPS (El-Rabbany, 2002).....	4
Gambar 2. Sistem penentuan posisi GPS (Abidin, 1995).....	6
Gambar 3. Berbagai merk GPS Geodetik.....	7
Gambar 4. komponen-komponen yang ada pada GPS Geodetik merk JAVAD (www.javad.com).....	8
Gambar 5. Persebaran IGS (NASA, 2015).....	10
Gambar 6. Penentuan posisi relatif pengamatan GPS (Widjajanti, 2010).....	17
Gambar 7. Penentuan posisi titik-titik dengan metode survei GPS (Abidin, 2010).....	18
Gambar 8. Diagram alir perhitungan koordinat titik-titik jaringan GPS.....	19
Gambar 9. Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS [Langley, 1998].....	20
Gambar 10. Pengeplotan area penelitian di google earth.....	28
Gambar 11. Peta administrasi Kabupaten Banjarnegara.....	29
Gambar 12. Contoh salah satu lokasi di Clapar di Banjarnegara yang mengalami longsor ...	30
Gambar 13. Tahapan umum pelaksanaan survei GPS.....	31
Gambar 14. Strategi-strategi pengontrolan kualitas pengamatan (Abidin, 2007).....	33
Gambar 15. Pengolahan data <i>baseline</i> GNSS (SNI JKH, 2002).....	34
Gambar 16. Tahapan perhitungan suatu <i>baseline</i> GNSS (SNI JKH, 2002).....	35
Gambar 17. Perataan jaring GNSS (SNI JKH, 2002).....	37
Gambar 18. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala pertama.....	41
Gambar 19. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala kedua.....	41
Gambar 20. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala ketiga.....	42
Gambar 21. Grafik ketelitian koordinat x, y, dan Z pada kala ke empat.....	42
Gambar 22. Grafik perbandingan ketelitian koordinat X, Y dan Z tiap kala.....	43
Gambar 23. Besar dan arah pergerakan tanah.....	45
Gambar 25. Besar dan arah pergerakan tanah.....	47
Gambar 25. Besar dan arah pergerakan tanah.....	49

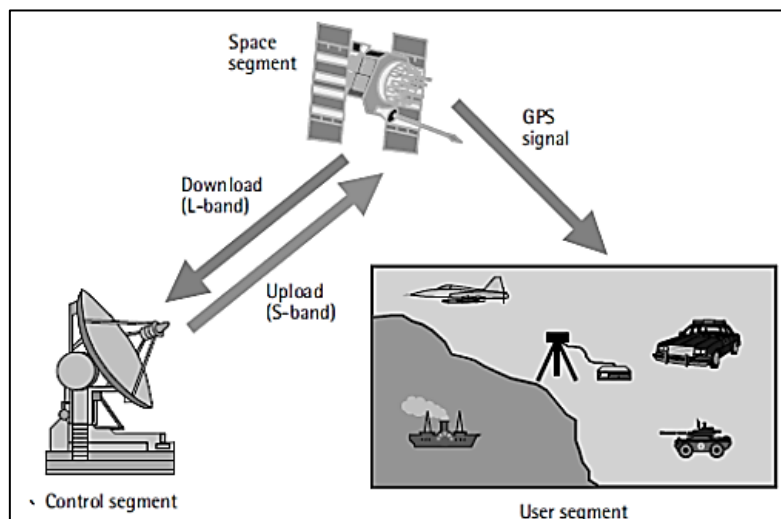
DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter elipsoid WGS 1984 (Abidin, 2002)	13
Tabel 2. Faktor dan parameter yang mempengaruhi ketelitian penentuan posisi	14
Tabel 3. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada kala pertama beserta simpangan bakunya	38
Tabel 4. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada kedua beserta simpangan bakunya.....	38
Tabel 5. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada ketiga beserta simpangan bakunya.....	39
Tabel 6. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala pertama s.d kedua.....	40
Tabel 7. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala kedua s.d ketiga	44
Tabel 8. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala pertama s.d ketiga.....	46
Tabel 9. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d II.....	48
Tabel 10. Hasil uji beda signifikansi parameter kala II s.d III.....	50
Tabel 11. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d III	52
Tabel 12. Hasil uji signifikansi parameter kala II s.d III	53
Tabel 13. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d III.....	55
Tabel 14. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d III.....	56
Tabel 15. Besar pergerakan horisontal dan vertikal yang terjadi	58

PEMANTAUAN PERGERAKAN TANAH MENGUNAKAN GPS GEODETIK

PENGERTIAN GPS

GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti serta informasi waktu secara kontinyu di seluruh dunia. Teknologi GPS ini terdiri atas tiga segmen, yaitu segmen kontrol, segmen angkasa, dan segmen pengguna (Abidin, 2009).



Gambar 1. Tiga segmen teknologi GPS (El-Rabbany, 2002)

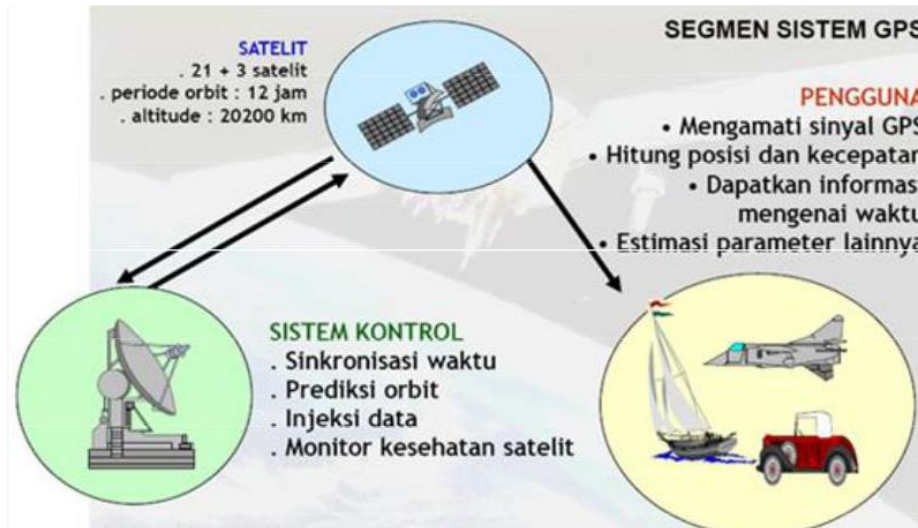
Gambar 1 menunjukkan tiga segmen yang ada dalam teknologi GPS. Segmen satelit terdiri atas satelit-satelit GPS yang beredar pada orbitnya masing-masing. Orbit satelit GPS memiliki inklinasi 55° dengan ketinggian rata-rata adalah 20.200 km. Satu lintasan orbit satelit terdapat empat satelit GPS. Masing-masing satelit GPS dilengkapi dengan jam atom yang digunakan untuk perhitungan jarak satelit ke *receiver* GPS.

Segmen kontrol terdiri atas stasiun-stasiun pemantau orbit satelit GPS. Segmen kontrol ini menentukan informasi *broadcast ephemeris* yang digunakan dalam perhitungan koordinat. Secara spesifik segmen kontrol terdiri atas *Ground Control Stations* (GCS), *Monitor Stations* (MS), *Prelaunch Compatibility Stations* (PCS), dan *Master*

Control Stations (MCS) (**Abidin, 1995**). Segmen pengguna atau dalam Gambar 1 dikenal dengan *user segment* merupakan pihak pengguna dari teknologi GPS. Dalam segmen pengguna, diperlukan suatu *receiver* GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS, sehingga didapatkan posisi dari segmen pengguna. *Receiver* GPS ini juga dilengkapi dengan jam untuk mengukur waktu tempuh sinyal GPS, namun jam *receiver* ini tidak lebih teliti dari jam satelit (**Cai, 2007**).

Global Navigation Sattelite System atau yang dikenal dengan GNSS merupakan perkembangan dari teknologi GPS. GNSS merupakan gabungan dari beberapa satelit pengamatan posisi seperti GPS milik Amerika Serikat, GLONASS milik Eropa, dan COMPASS milik China (**Panuntun, 2012**). Masing-masing satelit tersebut memiliki tiga segmen yang telah diuraikan sebelumnya. Dengan adanya teknologi GNSS ini, pengukuran posisi suatu titik di permukaan bumi menjadi lebih teliti karena jumlah satelit yang terekam oleh *receiver* lebih banyak. Namun, dalam pengolahan data pengamatan dibutuhkan suatu transformasi datum untuk mengintegrasikan hasil pengamatan dari beberapa satelit (**Prasedya, 2015**).

GPS atau *Global Positioning System* adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Sistem yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia (**Abidin, 2010**). Sistem GPS terbagi menjadi tiga segmen utama yaitu segmen angkasa/satelit, segmen sistem kontrol dan segmen pemakai (**Leick, 2004**). Segmen angkasa terdiri atas satelit-satelit GPS yang berjumlah 24 satelit dengan periode orbit 12 jam dan tinggi orbit 20.200 km. Segmen sistem kontrol terdiri atas lima stasiun stasiun pemonitor gerakan satelit, dan segmen pemakai terdiri atas pemakai GPS di seluruh belahan bumi. Interaksi ketiga sistem tersebut terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem penentuan posisi GPS (Abidin, 1995)

Salah satu pengembangan sistem GPS adalah GNSS. GNSS merupakan gabungan dari beberapa satelit pengamatan posisi seperti GPS milik Amerika Serikat, GLONASS milik Rusia, dan COMPASS milik China. Sistem ini mengakibatkan pengukuran posisi suatu titik di permukaan bumi menjadi lebih teliti, karena jumlah satelit yang terekam oleh *receiver* lebih banyak. Namun, dalam pengolahan data pengamatan dibutuhkan suatu transformasi datum untuk mengintegrasikan hasil pengamatan dari beberapa satelit tersebut.

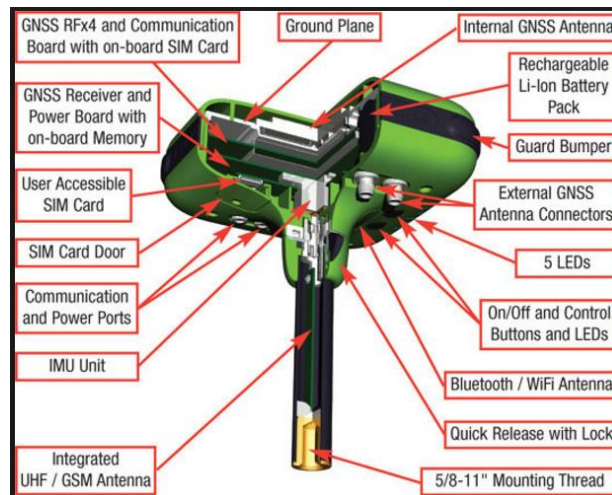
Penentuan posisi dengan GNSS telah diaplikasikan untuk berbagai aplikasi seperti pengamatan geodinamik, lempeng bumi, bangunan struktur, dan prediksi gempa, serta letusan gunung api. GNSS pun telah dikembangkan menjadi bentuk stasiun permanen dan secara kontinu merekam data GNSS dan memberikan layanan data kepada pengguna, stasiun ini biasa disebut sebagai GNSS-CORS.

Ada banyak jenis dan model *receiver* GPS yang dijual dengan bentuk, ukuran, kualitas, dan harga yang berbeda-beda. Mereka bekerja menurut beberapa prinsip-prinsip yang sama. Ada dua katagori utama receiver GPS : differential (kualitas-survei) dan non-differential (kualitas-navigasi). Perbedaan utama di antara kedua receiver GPS tersebut adalah bagaimana mereka mengkompensasi kesalahan. Differential GPS terdiri dari dua receiver, yang pertama digunakan sebagai *reference receiver* yang menggunakan data tersebut untuk mengkoreksi posisi koordinat dengan tingkat akurasi sebesar 2 meter.

Kemampuan mengkalkulasi data koreksi ini disebut differential receiver GPS harganya berkisar US\$ 3,000 – 10,000 sebuah. GPS non differential terdiri hanya satu *receiver*. Ini lebih mudah digunakan bila dibandingkan GPS differential dan harganya lebih murah; US\$ 200 – 800. Tingkat akurasi terburuknya sekitar 100 meter dan pada kondisi biasa tingkat akurasinya adalah sekitar 30 meter, beberapa GPS non – differential dapat mengkompensasi kesalahan dengan perhitungkan rata-rata Receiver dengan kemampuan perhitungan rata-rata dapat ditempatkan di suatu lokasi dan difungsikan untuk mengkalkulasikan koordinat setiap detik selama beberapa lama dan kemudian memberikan nilai rata-rata yang lebih akurat. Pada kedua kategori GPS tersebut, kualitas antenna dan mekanisme tuning telah berkembang dengan baik pada akhir-akhir ini. Model-model yang lebih baru memiliki 12 kanal yang memberikan kapasitas yang lebih besar untuk menerima beberapa sinyal satelit pada saat yang bersamaan. Ini berarti kita dapat memperoleh position mix lebih cepat bahkan di bawah kanopi hutan yang tipis atau persis di lembah. Pada Gambar 3 dan 4 di bawah ini, menyajikan beberapa merk dari GPS Geodetik, seperti merk TopCon dan JAVAD serta menunjukkan komponen-komponen yang ada pada GPS Geodetik merk JAVAD.



Gambar 3. Berbagai merk GPS Geodetik



**Gambar 4. komponen-komponen yang ada pada GPS Geodetik merk JAVAD
(www.javad.com)**

GNSS merupakan suatu sistem penentuan posisi di permukaan bumi dengan menggunakan satelit. Beberapa sistem satelit navigasi yang dapat digunakan secara umum yaitu GPS dan GLONASS. GNSS merupakan suatu sistem navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini berguna untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan (Abidin, 2011). Sampai saat ini satelit-satelit GNSS ada 24 satelit aktif yang mengorbit di angkasa luar dan tersebar merata di luar bumi.

Sekarang ini, kegunaan GNSS sebagai metode penentuan posisi sudah dimanfaatkan secara luas, salah satunya digunakan untuk pengamatan pergerakan tanah. Pada dasarnya, penggunaan GNSS untuk pergerakan tanah dilakukan dengan menentukan koordinat titik-titik pantau secara teliti dan berkala. Dengan mempelajari perubahan koordinat titik-titik pantau tersebut secara kontinyu dari waktu ke waktu, maka besarnya kecepatan dan arah pergerakan dapat diketahui. Dengan diketahuinya besar kecepatan dan arah pergerakan, analisis dan estimasi mengenai regangan yang terjadi dapat dilakukan (Baarda, 1967).

Pengertian GNSS mengacu pada pengertian GPS, yakni merupakan sistem sistem navigasi berbasis satelit yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca, didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan juga informasi waktu, secara kontinyu di seluruh dunia (Bayrak, 2007). Satelit GNSS yang saat

ini aktif memberikan layanan penentuan posisi adalah GPS, GLONASS, dan GALILEO. GPS dikembangkan oleh Amerika Serikat sejak tahun 1973, dan mulai digunakan untuk menyelesaikan persoalan geodesi sejak sekitar 1983. Adapun GLONASS dikembangkan oleh Rusia sejak 1970 dan diresmikan pada Februari 1982. Beberapa GPS *receiver* (*Topcon, Leica, JAVAD* dan *Trimble*) dapat menangkap kedua sinyal satelit GPS dan GLONASS secara simultan.

Teknologi GNSS ini telah berkembang dan banyak diterapkan pada penentuan posisi teliti titik-titik dalam jaringan dari waktu ke waktu. Hal ini bermanfaat pada pemantauan pergerakan suatu objek. GNSS telah diaplikasikan untuk pengamatan dinamika bumi (geodinamika) seperti pergerakan sesar, lempeng tektonik, yang selanjutnya dipakai untuk prediksi gempa bumi dan letusan gunung berapi (**Abidin, 2010**). GNSS pun telah dikembangkan menjadi bentuk stasiun permanen dan secara kontinyu merekam data GNSS dan memberikan layanan data kepada pengguna, stasiun ini biasa disebut sebagai GNSS-CORS.

International GNSS Service (IGS) adalah suatu organisasi internasional yang merupakan kumpulan dari berbagai agensi dan badan multinasional di seluruh dunia. IGS mengumpulkan sumber dan data permanen dari stasiun GNSS dan memelihara sistem GNSS tersebut. IGS didirikan oleh *International Association of Geodesy* (IAG). Pada tahun 1993, dan secara formal beroperasi mulai tahun 1994. Setiap negara berkontribusi dalam IGS dengan membangun stasiun IGS. Saat ini IGS mempunyai sekitar 200 stasiun penjejak satelit yang tersebar di seluruh dunia yang mengamati satelit-satelit GNSS secara kontinyu. Data 26 pengamatan stasiun IGS diolah dan dikelola oleh 16 *Operational Data Centers*, lima *Regional Data Centers* dan tiga *Global Data Centers*. Data ini selanjutnya diolah oleh tujuh *Analysis Centers* yang kemudian hasilnya disebarluaskan secara global. IGS juga menerbitkan spesifikasi dan standar internasional dari data GNSS (**Duong, 2013**).

IGS merupakan kolaborasi kontribusi organisasi sukarela lebih dari 200 stasiun di lebih dari 80 negara. IGS global melacak lebih dari 300 jaringan tetap, stasiun GPS yang beroperasi secara terus menerus memberikan berbagai data set untuk analisis IGS pusat, untuk merumuskan produk yang tepat seperti *ephemeris* satelit dan *clock solutions* (**Bock, 2003**). Data IGS secara global disediakan melalui situs <http://igsb.jpl.nasa.gov> yang

IERS setiap tahunnya. ITRF yang dipublikasikan setiap tahun tersebut diberi nama ITRF-yy. Dalam hal ini, yy menunjukkan tahun terakhir data yang digunakan untuk menentukan kerangka tersebut. Sebagai contoh, ITRF94 menunjukkan kerangka koordinat dan kecepatan yang dihitung pada tahun 1995 dengan menggunakan semua data IERS sampai akhir tahun 1994 (SNI, 19-6724-2002).

CORS (*Continuously Operating Reference Station*) adalah suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik. Pada setiap titik CORS ini dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS. Stasiun CORS beroperasi secara penuh dan kontinu selama 24 jam perhari, 7 hari per minggu untuk mengumpulkan, merekam, mengirim data pengamatan GNSS, dan memungkinkan para pengguna memanfaatkan data dalam penentuan posisi, baik secara *post-processing* maupun secara *real time* (Whittaker dkk, 2007).

Di Indonesia stasiun permanen CORS dikelola oleh BIG dan diberi nama Ina-CORS. Jumlah Ina-CORS yang telah dioperasikan adalah sebanyak 124 stasiun terdiri atas 102 yang didanai dengan APBN, 19 stasiun didanai oleh kerjasama Indonesia dengan Jerman (program Ina-TEWS), dan tiga stasiun didanai dari *Delft University of Technology*. (TU Delft) di Palu, Watau dan Toboli (Sulawesi) (Aditiya, dkk., 2014). Lokasi stasiun CORS ini ditempatkan tersebar di seluruh Indonesia pada beberapa pulau utama yakni Jawa, Sumatra, Bali, Kalimantan, Sulawesi, NTT, NTB, Maluku dan Papua.

Pemantauan langsung terhadap lempeng tektonik merupakan hal yang sulit. Pendekatan pemantauan di permukaan bumi pada *bed-rock* telah banyak diterapkan untuk mewakili lempeng tektonik. Teknik pemantauan lempeng tektonik dengan teknik *land-based surveying* jarang dipakai karena keterbatasan dalam hal luas cakupan. Sejak periode 1990, pemantauan lempeng tektonik berkembang dengan adanya teknologi *space-based geodesy*, teknik-teknik tersebut antara lain VLBI, SLR, dan GPS/GNSS (www.leeds.ac.uk). VLBI atau *Very Long Baseline Interferometry* adalah pendekatan pemantauan dengan mengukur sedikit perbedaan waktu kedatangan sinyal radio alami yang dipancarkan dari bintang *quasar* terdeteksi oleh berbagai radio-teleskop. Metode ini dapat melakukan pengukuran selama beberapa tahun sehingga memungkinkan diketahuinya perubahan posisi relatif radio-teleskop.

Pendekatan lain dalam pemantauan lempeng tektonik adalah dengan menggunakan satelit reflektif di orbit Bumi. Sistem *Satellite Laser Ranging* (SLR) memberikan pancaran singkat sinar laser yang dikirim ke satelit dari stasiun bumi dan dipantulkan kembali ke stasiun bumi. Pengukuran waktu perjalanan (dalam *pico seconds*) bisa menentukan jarak ke satelit dan pengukuran berulang untuk satu negara memungkinkan untuk menentukan posisinya relatif terhadap konstelasi satelit reflektif. Dalam hal ini, kerangka acuan untuk mendeteksi gerakan lempeng aktif (waktu rata-rata selama beberapa tahun) adalah serangkaian orbit Bumi (www.leeds.ac.uk). Pendekatan teknik pemantauan lempeng tektonik lainnya adalah dengan GPS/GNSS. GPS/GNSS memakai konstelasi satelit navigasi (minimal empat satelit) di luar angkasa untuk melakukan reseksi dengan persamaan jarak sehingga didapatkan posisi teliti di permukaan bumi. Pengukuran dengan GPS/GNSS pada satu titik relatif terhadap titik lainnya dalam kerangka waktu tertentu potensial dipakai untuk pemantauan lempeng tektonik. Teknik ini secara teknis lebih handal dibanding teknik VLBI dan SLR, teknik ini memiliki biaya lebih murah dan bisa diaplikasikan dimanapun area pengamatannya dengan mudah oleh operator yang bebas (**Kious dkk, 1996**).

Konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X,Y,Z) yang dinyatakan dalam datum WGS 1984. Sistem WGS 1984 adalah sistem terestrial konvensional. Pendefinisian sistem koordinatnya sebagai berikut (**Prihandito, 2010**):

- a. Titik nol sistem koordinat adalah titik pusat massa Bumi,
- b. Skalanya adalah kerangka bumi lokal dalam terminologi teori relativitas dari gravitasi,
- c. Sumbu Z mengarah ke IERS *reference pole*. Sumbu X-nya berada di ekuator dan pada bidang IERS *Reference Meridian* (IRM). Sumbu Y tegak lurus sumbu X dan Z, dan membentuk sistem koordinat tangan kanan,
- d. Evolusi waktu dari orientasinya tidak mempunyai residu pada rotasi global terhadap kerak bumi.

Pada sistem koordinat WGS 1984, referensi elipsoid yang digunakan adalah elipsoid geosentrik WGS 1984, dengan parameter utama tersaji dalam Tabel 1:

Tabel 1. Parameter elipsoid WGS 1984 (Abidin, 2002)

Parameter	Notasi	Nilai
Sumbu panjang	a	6378137 m
Penggepengan	f	1/298,257223563
Kecepatan sudut rotasi Bumi	Ω	7292115,0 x 10 ⁻¹¹ rad/dt
Konstanta gravitasi Bumi	GM	3986004,418 x 10 ⁸ m ³ /dt ²

Pengukuran jarak pada saat pengamatan menggunakan teknologi GPS dibagi menjadi dua jenis (**Rizos, 1999**) yaitu pengukuran *pseudorange* dan *carrier phase*. Pengukuran *pseudorange* merupakan jarak yang diukur dari waktu perambatan sinyal satelit dari satelit ke *receiver*. Pengukuran dilakukan oleh *receiver* dengan membandingkan kode yang diterima dari satelit dan replika kode yang diformulasikan dalam *receiver*. Sedangkan untuk pengukuran dengan *carrier phase* merupakan pengukuran yang dilakukan dengan mengukur beda fase sinyal GPS. Proses hitungan dilakukan dengan mengurangi fase sinyal pembawa dari satelit dengan sinyal yang dibangkitkan dalam *receiver* (**Klobuchar, 1996**).

Ketelitian yang didapat dengan pengamatan GPS secara umum tergantung pada empat faktor yaitu: metode penentuan posisi yang digunakan, geometri dan distribusi dari satelit-satelit yang diamati, ketelitian data yang digunakan, dan strategi pengolahan data yang diterapkan. Masing-masing faktor tersebut mempunyai beberapa parameter yang berpengaruh pada ketelitian posisi yang diperoleh dari GPS. Faktor dan parameter yang mempengaruhi ketelitian penentuan posisi dengan GPS tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Faktor dan parameter yang mempengaruhi ketelitian penentuan posisi dengan GPS (Abidin, 2011)

Faktor		Parameter
Ketelitian data	<ul style="list-style-type: none"> a. b. c. 	<ul style="list-style-type: none"> Tipe data yang digunakan (<i>pseudorange</i>, fase) Kualitas <i>receiver</i> GPS Level dari kesalahan dan bias
Geometri satelit	<ul style="list-style-type: none"> a. b. c. 	<ul style="list-style-type: none"> Jumlah satelit Lokasi dan distribusi satelit Lama pengamatan
Metode penentuan posisi	<ul style="list-style-type: none"> a. b. c. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Absolute</i> dan <i>differential positioning</i> <i>Static</i>, <i>rapid static</i>, <i>pseudo-kinematic</i>, <i>stop and go</i>, <i>kinematic</i> <i>One and multi station reference</i>
Strategi pemrosesan data	<ul style="list-style-type: none"> a. b. c. d. e. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Real time</i> dan <i>post processing</i> Strategi eliminasi dan pengoreksian kesalahan dan bias Metode estimasi yang digunakan Pemrosesan <i>baseline</i> dan perataan jaringan Kontrol kualitas

Penentuan posisi dengan GPS dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode absolut dan metode diferensial. Metode absolut atau *point positioning* adalah penentuan posisi suatu titik dengan menggunakan sebuah *receiver* GPS. Karakteristik dari metode absolut adalah pengukuran dilakukan pada satu titik pengamatan sehingga pengukuran

jarak hanya dilakukan dari satelit GPS ke titik pengamatan berdasarkan jumlah *ranging* yang terekam oleh antena.

Penentuan posisi GPS dengan metode diferensial adalah penentuan suatu titik pengamatan yang ditentukan relatif terhadap posisi titik yang lain yang diketahui koordinatnya. Pengukuran dengan metode ini minimal membutuhkan dua *receiver* GPS atau lebih. Pengukuran antar dua titik pengamatan menghasilkan suatu jarak yang dikenal sebagai jarak basis (*baseline*). Karakteristik dari metode relatif adalah pengukuran dilakukan minimal dua titik pengamatan, dan terdapat data pengamatan yang saling *overlap*. Penentuan posisi metode relatif ini telah dikembangkan menjadi beberapa sistem pengukuran, yaitu statik, kinematik, statik singkat, *pseudo*-kinematik, dan *stop and go*.

Penentuan posisi dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan prinsip pengikatan ke belakang yaitu dengan mengukur jarak dari beberapa satelit yang diketahui posisinya sehingga posisi pengamat dapat dihitung. Pengamatan dengan teknologi GPS menghasilkan koordinat dalam sistem koordinat geodetik (φ , λ , h), koordinat kartesi tiga dimensi (X,Y,Z) dan parameter waktu.

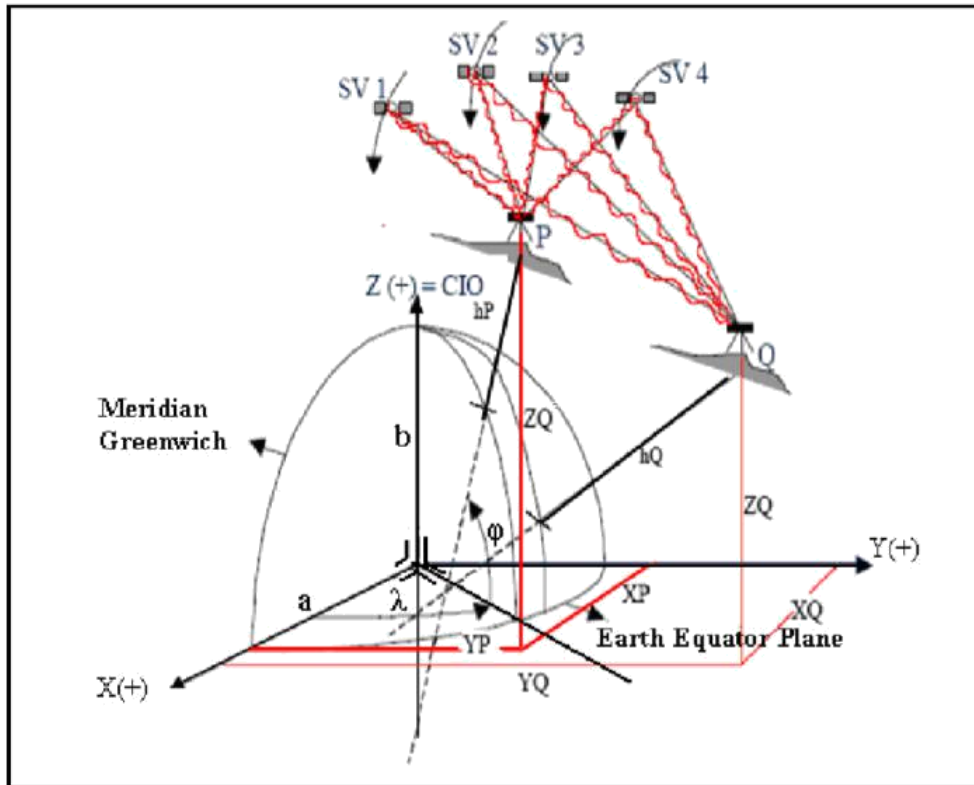
Pengukuran jarak pada saat pengamatan dan pengukuran menggunakan teknologi GPS dibagi menjadi dua jenis (**Rizos, 1999**) yaitu pengukuran *pseudorange* dan *carrier phase*. Pengukuran *pseudorange* merupakan jarak yang diukur dari waktu perambatan sinyal satelit dari satelit ke *receiver*. Pengukuran dilakukan oleh *receiver* dengan membandingkan kode yang diterima dari satelit dan replika kode yang diformulasikan dalam *receiver*. Sedangkan untuk pengukuran dengan *carrier phase* merupakan pengukuran yang dilakukan dengan mengukur beda fase sinyal GPS. Proses hitungan dilakukan dengan mengurangkan fase sinyal pembawa dari satelit dengan sinyal yang dibangkitkan dalam *receiver*.

Penentuan posisi dengan teknologi GPS dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode absolut dan metode relatif. Metode absolut atau *point positioning* merupakan penentuan posisi suatu titik yang dapat ditentukan dengan menggunakan sebuah *receiver* GPS. Karakteristik dari metode absolut adalah pengukuran yang dilakukan pada satu titik pengamatan, dan pengukuran jarak yang hanya dilakukan dari satelit GNSS ke titik pengamatan berdasarkan jumlah *ranging* yang terekam oleh antena.

Penentuan posisi GPS dengan metode relatif adalah penentuan suatu titik pengamatan yang ditentukan relatif terhadap posisi titik yang lain yang diketahui koordinatnya. Pengukuran dengan metode ini minimal membutuhkan dua *receiver* GPS atau lebih. Pengukuran antar dua titik pengamatan menghasilkan suatu jarak yang dikenal sebagai jarak basis (*baseline*). Karakteristik dari metode relatif adalah pengukuran yang dilakukan minimal dua titik pengamatan, dan terdapat data pengamatan yang saling *overlapping*. Penentuan posisi metode relatif ini telah dikembangkan menjadi beberapa sistem pengukuran, salah satunya adalah metode relatif kinematik.

Pengukuran GPS metode relatif kinematik merupakan metode pengukuran dengan melakukan pengamatan di dua titik atau lebih dalam waktu bersamaan, dengan salah satu titik sebagai *base station* dan titik yang lain sebagai *rover* yang bergerak. *Base station* berfungsi sebagai titik yang memberikan koreksi pengukuran terhadap posisi *rover*. Pemberian koreksi ini dapat dilakukan dengan *post processing* maupun secara *real time* pada waktu pengukuran. Dalam pemberian koreksi secara *real time* dilakukan menggunakan gelombang radio, *bluetooth*, dan via internet (Hu dkk, 1996).

Konsep dasar penentuan posisi dengan GPS menggunakan metode pemotongan ke belakang dengan jarak. Pada Gambar 6 pengukuran jarak antara *receiver* GPS dan beberapa satelit GPS yang mengorbit di angkasa luar dilakukan secara simultan. Untuk menentukan koordinat suatu titik di bumi, *receiver* setidaknya membutuhkan empat satelit yang dapat diterima dengan baik.



Gambar 6. Penentuan posisi relatif pengamatan GPS (Widjajanti, 2010)

Keterangan Gambar 6 :

(SV)_i : *satellite vehicle*

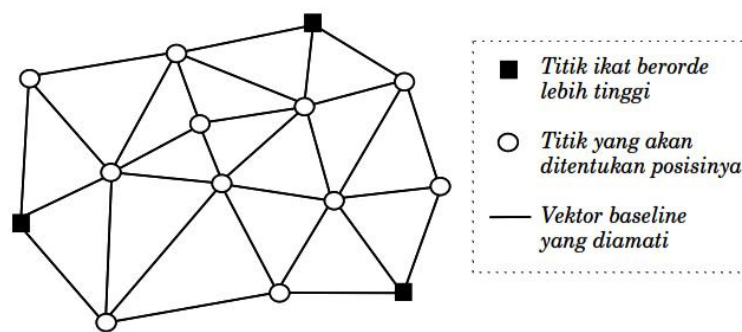
Q dan P : posisi *receiver* di permukaan bumi

(φ, λ) : lintang dan bujur geodetis

Posisi suatu titik di permukaan bumi dapat ditentukan menggunakan *receiver* GPS dengan metode penentuan posisi absolut (*point positioning*), maupun terhadap titik lain yang diketahui koordinatnya dengan metode penentuan posisi relatif (*differential positioning*) yang minimal dua *receiver* GPS (Abidin, 2010). Jika diketahui arah tiga lokasi maka dapat dilakukan triangulasi untuk mencari lokasi lain. Sebuah receiver GPS bekerja dengan mengukur jarak ke arah tiga atau lebih satelit yang ada dalam bidang pandangnya. Receiver mengetahui tempat tiap satelit berada, kapanpun juga, karena memiliki almanak (seperti kalender) dalam memorinya. Receiver GPS mengukur jarak ke suatu tempat yang sangat jauh jaraknya, alat tersebut melakukannya dengan mengatur waktu berapa lama sinyal tiba dari satelit dan kemudian menghitung jaraknya berdasar kecepatan sinyal radio tersebut. GPS mengetahui saat sinyal meninggalkan satelit, sinyal

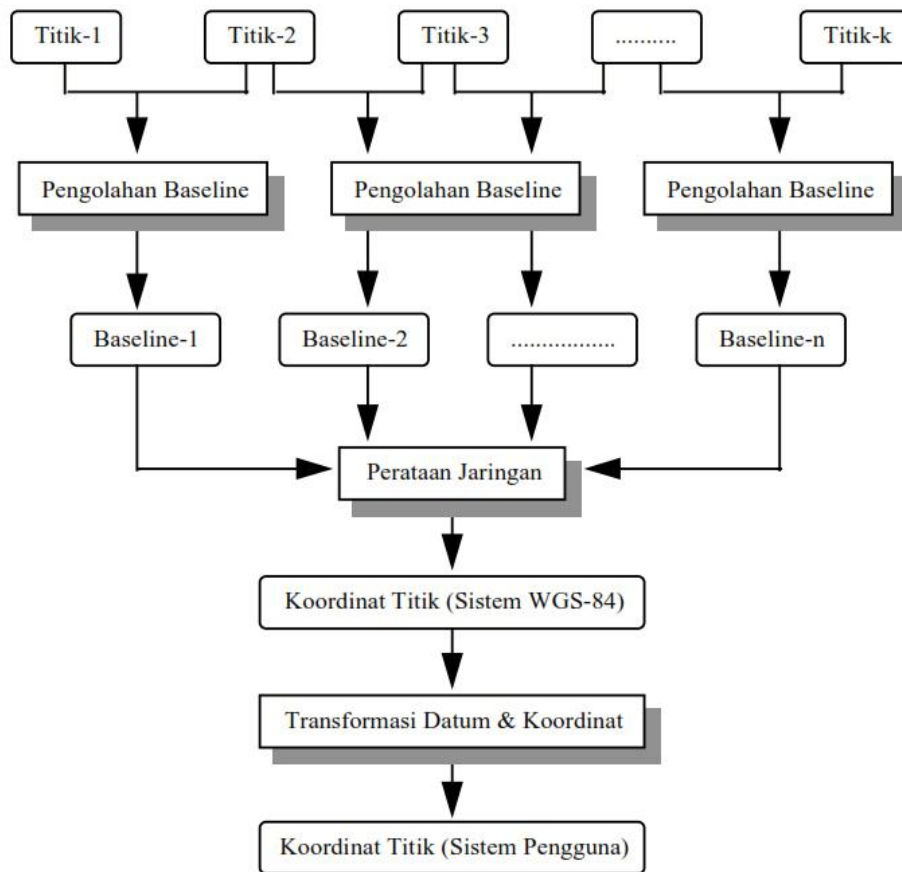
tersebut diberi kode untuk mengetahui kapan sinyal tersebut meninggalkan satelit. Receiver GPS membaca kode dan menghitung perbedaan antara waktu keberangkatan dan kedatangannya.

Survei penentuan posisi dengan pengamatan satelit GPS (survei GPS) secara umum dapat didefinisikan sebagai proses penentuan koordinat dari sejumlah titik terhadap beberapa buah titik yang telah diketahui koordinatnya, dengan menggunakan metode penentuan posisi diferensial (*differential positioning*) serta data pengamatan fase (*carrier phase*) dari sinyal GPS. Pada survei GPS, pengamatan GPS dengan selang waktu tertentu dilakukan baseline per baseline dalam suatu jaringan dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Penentuan posisi titik-titik dengan metode survei GPS (Abidin, 2010)

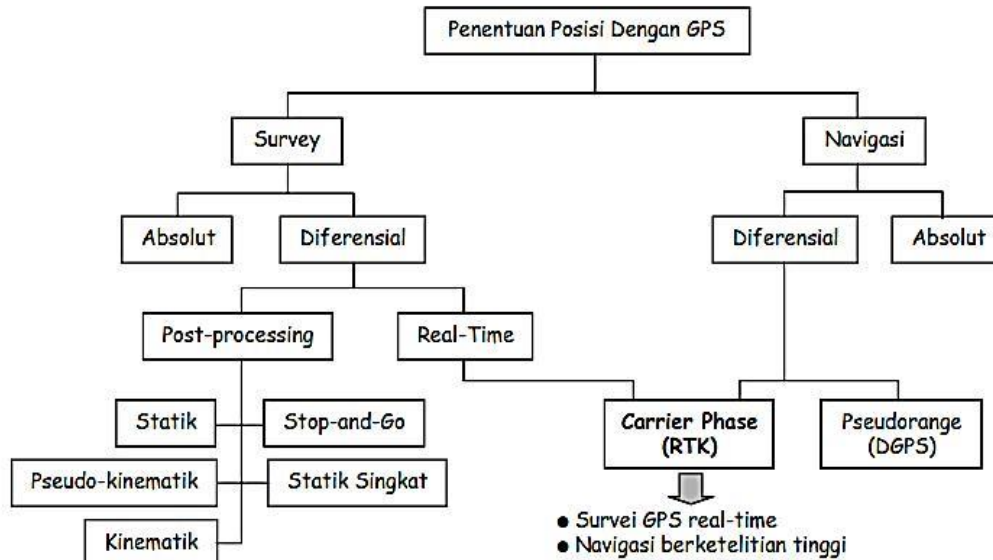
Patut dicatat di sini bahwa seandainya lebih dari dua receiver GPS yang digunakan, maka pada satu sesi pengamatan (*observing session*) dapat diamati lebih dari satu baseline sekaligus. Secara skematik proses perhitungan koordinat titik-titik dalam jaringan GPS dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Diagram alir perhitungan koordinat titik-titik jaringan GPS

Dalam hal ini metode penentuan posisi diferensial dengan data fase digunakan untuk menentukan vektor (dX, dY, dZ) dari setiap baseline yang diamati. Penentuan vektor baseline ini umumnya dilakukan dengan metode hitung perataan kuadrat terkecil (*least squares adjustment*). Pada dasarnya konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X, Y, Z ataupun L, B, h) yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984. Dengan GPS, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu receiver GPS terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode *absolute (point) positioning*, ataupun terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (*monitor station*) dengan menggunakan metode *differential (relative) positioning* yang menggunakan minimal dua receiver GPS, yang menghasilkan ketelitian posisi yang relatif lebih tinggi. GPS dapat memberikan posisi secara instan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan setelah data

pengamatannya di proses secara lebih ekstensif (*post processing*) yang biasanya dilakukan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik. Secara umum kategorisasi metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS [Langley, 1998]

RUMUS-RUMUS

Pergerakan dapat didefinisikan perubahan bentuk dan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif (**Kuang, 1996**). Pergerakan secara absolut adalah gerakan pada suatu sistem referensi tertentu yang dilihat dari titik itu sendiri, sedangkan pergerakan secara relatif adalah gerakan pada suatu sistem referensi tertentu yang dilihat dari titik lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif). Perubahan kedudukan yang dimaksudkan adalah besarnya perubahan posisi titik yang diamati pada jangka waktu tertentu secara kontinyu (**Chen, 1988**).

Pergerakan merupakan suatu fenomena dimana objek-objek alamiah atau buatan manusia mengalami perubahan bentuk dari kondisi awalnya, biasanya terjadi perubahan posisi, seperti naik, turun, dan bergeser (**Hanifa, 2007**). Pergerakan yang terjadi pada objek infrastruktur dapat disebabkan oleh faktor alam misalnya pergerakan tanah di lokasi berdirinya infrastruktur tersebut. Untuk mengetahui besar pergerakannya,

diperlukan monitoring posisi terhadap target yang terdapat pada infrastruktur (**Sunantyo, 2012**). Target dapat berupa titik, garis atau bidang yang dapat dianggap mewakili objek infrastruktur. Monitoring dilakukan secara kontinyu (*time series*). Apabila posisi target diketahui di setiap pengamatan, maka perubahan posisi yang terjadi tersebut diolah dan dianalisis untuk diambil kesimpulan pergerakannya (**Lestari, 2006**).

Penentuan parameter-parameter pergerakan dilakukan melalui survei pergerakan. Survei pergerakan adalah survei geodetik yang bertujuan untuk mempelajari fenomena-fenomena pergerakan dan geodinamika yang terjadi. Fenomena-fenomena tersebut terbagi atas dua, yaitu fenomena alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, dan lain-lain. Fenomena yang lain adalah fenomena buatan manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, dan sebagainya (**Sunantyo, 2012**).

Survei pergerakan itu sendiri bisa bermacam-macam metodenya. Salah satu metode pergerakan yaitu metode konvensional, contohnya dengan menggunakan *teodolit*, *Total Station*, ataupun sipat datar. Seiring perkembangan kemajuan teknologi muncul metode baru dalam survei pergerakan, yaitu metode satelit (**Abidin, 2009**). Metode satelit dapat dilakukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) ataupun dengan menggunakan penginderaan jauh. Pengamatan menggunakan GPS ataupun *Total Station*, akan diperoleh model pergerakan yang dapat ditentukan dengan membandingkan posisi titik-titik di atas permukaan bumi dalam suatu kurun waktu tertentu. Dalam melakukan suatu survei pergerakan diperlukan kerangka dasar untuk pemantauan pergerakan secara berkala (**Yulaikhah, 2013**).

Efek-efek dari penyebab pergerakan atau pergerakan pada suatu materi menciptakan reaksi yang sebanding dengan sifat geometrik dan jenis material dari materi yang terpergerakan tersebut. Beban atau gaya berat materi merupakan gaya penyebab pergerakan. Bekerjanya gaya berat pada suatu materi yang disertai pengaruh gaya berat dari materi di sekitarnya dalam suatu selang waktu mempengaruhi bentuk geometri materi tersebut. Reaksi yang terjadi mempengaruhi posisi, bentuk, dan dimensi materi yang terpergerakan. Pergerakan yang terjadi pada suatu materi terdiri atas dua sifat, yaitu (**Widjajanti, 1997**) :

1. Sifat elastik yaitu materi yang kembali ke bentuk semula apabila tidak adanya lagi gaya pergerakan yang terjadi pada materi tersebut.

2. Sifat plastik yaitu materi yang tidak kembali ke bentuk awal, walaupun gaya pergerakan sudah tidak bekerja lagi pada materi tersebut.

Analisis pergerakan bertujuan untuk menentukan kuantifikasi pergerakan dan parameter-parameter pergerakan, yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu. Penyelidikan pergerakan pada suatu objek pengamatan biasanya dilakukan berulang pada kala yang berbeda. Berdasarkan hasil pengukuran berulang tersebut, didapatkan perbedaan koordinat titik-titik pantau sehingga besar dan parameter-parameter pergerakan dapat ditentukan (**Apriyanti, 2015**).

Analisis adalah penarikan suatu kesimpulan tentang karakteristik dari struktur suatu fenomena secara keseluruhan atau komponen-komponen pembentuk struktur tersebut (**Kuang, 1996**). Apabila suatu benda mengalami pergerakan maka dapat dilakukan analisis dengan dua macam cara, yaitu intepretasi fisik dan analisis geometrik (**Sulasdi, 1995**). Intepretasi fisik adalah proses penerjemahan secara fisis terhadap sifat materi yang mengalami pergerakan tegangan (*stress*) yang terjadi pada materi, hubungan fungsional antara beban dan pergerakan yang terjadi.

Analisis geometrik merupakan bidang kajian ilmu geodesi yang dilakukan dengan mengkuantifikasi besar pergerakan yang terjadi dari penentuan besarnya vektor pergerakan koordinat antar kala (**Hanifa, 2007**). Perhitungan pergerakan secara geometrik diperlukan pengamatan yang menghasilkan data hingga fraksi milimeter, sehingga diperlukan teknologi dan metode yang memadai untuk melakukan pengamatan hingga fraksi milimeter tersebut.

Analisis geometrik lebih menekankan penentuan parameter pergerakan dengan jalan mentransformasikan perubahan posisi ke dalam bentuk parameter-parameter pergerakan meliputi translasi, rotasi dan regangan. Interpretasi fisik dapat dilakukan dengan dua macam metode, yaitu metode deterministik dan metode statistik. Metode deterministik adalah metode operasional yang menggunakan informasi yang berkaitan dengan beban, sifat-sifat materi, geometri benda dan hukum fisik yang berlaku untuk tegangan-regangan (*stress-strain*), sedangkan metode statistik dinamakan juga metode analisis regresi yang menitikberatkan pembahasannya pada analisis korelasi antara besaran pergerakan (*displacement*) dan besaran beban (*load*) penyebab terjadinya pergerakan (**Chzranowski, 1986**).

Terkait dengan pergerakan titik, maka pergerakan merupakan perubahan posisi suatu titik pada suatu benda dimana titik terletak pada sistem referensi tertentu. Dalam hal ini titik tersebut memiliki posisi dalam sistem koordinat tertentu. Induk dari pergerakan adalah dinamika bumi yang mengalami banyak perubahan yang diakibatkan kondisi yang tidak stabil dari lempeng bumi (**Fajriyanto dkk, 2013**).

Hasil proses pengolahan data GPS dihasilkan adalah berupa data 3D (X, Y dan h) untuk setiap kala dan varian aposteori masing-masing kala. Berdasarkan data tersebut dijadikan masukan bagi analisis pergerakan horizontal dan vertikal. Dalam melakukan hitung analisis pergerakan horizontal dan vertikal adalah dengan membentuk persamaan pergerakan horizontal dan vertikal. Besar pergerakannya merupakan nilai beda dari komponen 3D (X, Y dan h) untuk tiga kala pengamatan, sesuai dengan persamaan 1, 2, dan 3 berikut (**Ulinnuha, 2015**):

$$d_X = X_{kala^2} - X_{kala^1} \quad 1$$

$$d_Y = Y_{kala^2} - Y_{kala^1} \quad 2$$

$$d_h = h_{kala^2} - h_{kala^1} \quad 3$$

Nilai pergerakan absis, nilai pergerakan ordinat, dan nilai pergerakan tinggi memiliki ketelitian, yang ditunjukkan dengan besar simpangan baku pergerakan absis, ordinat, dan tinggi. Proses perhitungan untuk mendapatkan simpangan baku dari pergerakan horizontal dan vertikal apabila antar pergerakan tersebut tidak berkorelasi dapat dikatakan dengan persamaan 4, 5, dan 6 berikut (**Apriyanti, 2015**):

$$\sigma d_X = \sqrt{\sigma_{X_{kala^2}}^2 + \sigma_{X_{kala^1}}^2} \quad 4$$

$$\sigma d_Y = \sqrt{\sigma_{Y_{kala^2}}^2 + \sigma_{Y_{kala^1}}^2} \quad 5$$

$$\sigma d_h = \sqrt{\sigma_{h_{kala^2}}^2 + \sigma_{h_{kala^1}}^2} \quad 6$$

Nilai pergerakan 3D diperoleh dari rumus *pythagoras* dengan melibatkan selisih absis, selisih ordinat dan selisih tinggi, yaitu seperti persamaan 7 sebagai berikut :

$$d_{total} = \sqrt{d_X^2 + d_Y^2 + d_h^2} \quad 7$$

Adapun proses perhitungan untuk mencari nilai simpangan baku nilai pergerakan 3D menggunakan prinsip hitungan perambatan kesalahan acak seperti persamaan 8 sebagai berikut :

$$\sigma_{d_{total}}^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial a_x}\right)^2 \sigma_{d_x}^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial a_y}\right)^2 \sigma_{d_y}^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial a_h}\right)^2 \sigma_{d_h}^2 \quad 8$$

Dinamika bumi terbagi menjadi tiga skala, yaitu skala global, skala regional dan skala lokal. Skala global mencakup gerakan antar benua, skala regional mencakup gerakan antar pulau dan skala lokal mencakup gerakan tanah pada tempat tertentu. Pada skala lokal inilah terdapat studi analisis pergerakan terpadu (**Fajriyanto dkk, 2013**). Untuk dapat memahami pengertian analisis pergerakan terpadu diperlukan pemahaman makna kata dari analisis, pergerakan dan terpadu. Hal ini dikarenakan pengertian analisis pergerakan berbeda dengan pengertian analisis pengkajian suatu objek.

Analisis geometrik untuk menentukan perubahan materi yang terpergerakan diperlukan kerangka referensi. Kerangka ini digunakan untuk menentukan besar perubahan yang terjadi terhadap suatu referensi yang sama pada semua kala pengamatan. Penggunaan kerangka dasar untuk keperluan analisis pergerakan khususnya analisis geometrik berkaitan dalam kerangka referensi (**Caspary, 1987**). Analisis pergerakan dari aspek geometri, perlu menerapkan kerangka dasar. Kerangka dasar yang digunakan bisa absolut atau relatif.

Analisis pergerakan bertujuan untuk menentukan kuantifikasi pergerakan dan parameter-parameter pergerakan, yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu. Penyelidikan pergerakan pada suatu objek pengamatan biasanya dilakukan berulang pada kala yang berbeda. Pengukuran pada masing-masing kala tersebut kemudian dapat diratakan secara terpisah pada masing-masing kala maupun perataan langsung dari dua kala. Berdasarkan hasil pengukuran berulang tersebut, didapat perbedaan koordinat titik-titik kontrol sehingga besar dan parameter-parameter pergerakan dapat ditentukan (**Widjajanti, 1997**). Analisis pergerakan aspek geometrik dapat dilakukan dengan menganalisis pergerakan posisi titik pantau. Analisis pergerakan terdiri atas dua tahap pengujian, yaitu uji kesebangunan jaring dan uji pergerakan titik.

Analisis pergerakan aspek geometrik dapat dilakukan dengan menganalisis pergerakan posisi titik pantau. Analisis pergerakan yang dilakukan yaitu melakukan uji

signifikansi beda parameter. Uji signifikansi beda parameter. Uji signifikansi beda parameter digunakan untuk mengetahui nilai perbedaan yang signifikan antara dua parameter. Uji ini menggunakan distribusi student dengan derajat kebebasan dan tingkat kepercayaan tertentu sebagai pembandingnya. Pengujian ini melakukan analisis dengan cara menghitung beda dua parameter dibagi dengan akar kuadrat masing-masing simpangan bakunya. Pada penelitian ini uji signifikansi beda parameter digunakan untuk mengetahui signifikansi pergerakan horizontal dan pergerakan vertikal antar kala yang berbeda. Apabila dituliskan dalam suatu model matematis menjadi persamaan 9 (Widjajanti, 2010).

$$T = \frac{X_i - X_{ii}}{\sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{xii}^2}}$$

9

Dengan penerimaan untuk hipotesis nol (H_0) adalah sebesar $T < t_{f,\alpha/2}$

Dalam hal ini,

T : nilai t hitung

$t_{f,\alpha/2}$: distribusi t pada tabel t (*student*) dengan tingkat kepercayaan sebesar α

x_i : parameter kala pertama

x_{ii} : parameter kala kedua

σ_{xi}^2 : simpangan baku parameter kala pertama

σ_{xii}^2 : simpangan baku parameter kala kedua

Berdasarkan persamaan 9 menunjukkan kriteria untuk penerimaan hipotesis nol. Penerimaan H_0 menunjukkan bahwa dua parameter tidak berbeda signifikan secara statistik. Penolakan H_0 menunjukkan bahwa dua parameter berbeda signifikan secara statistik.

Setelah didapatkan nilai koordinat dan simpangan baku dari stasiun-stasiun titik pantau GPS dari hasil pengolahan data pengamatan menggunakan *Geogenius* untuk kedua kala masing-masing, selanjutnya dilakukan penghitungan vektor pergerakan horisontal titik pantau yang terdiri atas besar pergerakan dan arah pergerakan, serta

pergerakan vertikal titik pantau. Besar dan arah pergerakan horisontal titik-titik pantau dapat dihitung dengan persamaan 10 dan persamaan 12, sedangkan pergerakan vertikal dapat dihitung dengan persamaan 11 (**Ulinnuha, 2015**).

$$dH = \sqrt{(X^{(j)} - X^{(i)})^2 + (Y^{(j)} - Y^{(i)})^2}$$

10

$$dV = (Z^{(j)} - Z^{(i)})$$

11

$$\alpha = \arctan \frac{x^{(j)} - x^{(i)}}{y^{(j)} - y^{(i)}}$$

12

Dalam hal ini,

i : kala satu fase gempa tektonik

j : kala dua fase gempa tektonik

dH : resultan pergerakan horisontal

dV : pergerakan vertikal

α : arah pergerakan horisontal

PELAKSANAAN PENGUKURAN

Bencana alam adalah salah satu fenomena yang dapat terjadi setiap saat, dimanapun dan kapanpun sehingga menimbulkan risiko atau bahaya terhadap kehidupan manusia, baik kerugian harta benda maupun korban jiwa manusia. Bencana tanah longsor merupakan salah satu bencana alam geologi yang dapat menimbulkan korban jiwa dan kerugian material yang sangat besar (Nugroho. dkk, 2009). Tanah longsor itu sendiri adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau ke luar lereng (SNI 13-7124-2005).

Dari data Bakornas Penanggulangan Bencana, sejak tahun 1998 hingga pertengahan tahun 2003, tercatat telah terjadi 647 kejadian bencana di Indonesia, dimana 85% dari bencana tersebut merupakan banjir dan longsor (**Marwanta 2003**). Dari gambaran

tersebut terlihat bahwa longsor merupakan bencana alam yang sangat mengancam dan penting untuk diperhatikan setelah banjir, karena frekwensi kejadian dan jumlah korban jiwa yang ditimbulkan cukup signifikan. Banjarnegara adalah Kabupaten yang memiliki kawasan pegunungan dengan resiko tanah longsor cukup tinggi. Pada hari Kamis (11 Desember 2014) dan Jumat (12 Desember 2014), setidaknya terjadi tanah longsor di 25 lokasi meski dalam skala kecil (joga.tribunnews.com).

Mengingat bahwa beberapa tempat di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah merupakan daerah yang mempunyai potensi gerakan tanah yang cukup tinggi (Djadja dkk, 2009), maka diperlukan suatu penelitian berupa kajian potensi pergerakan massa tanah. Daerah yang akan menjadi area telitian dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengeplotan area penelitian di Google Earth

Desa Clapar berada di wilayah Kecamatan Madukara, terletak di bagian timur Kabupaten Banjarnegara dan berbatasan dengan Kabupaten Wonosobo (Gambar 11). Desa Clapar secara geografis merupakan wilayah perbukitan seluas ± 350 hektar. Berdasarkan data Pemerintah Kabupaten Banjarnegara diketahui bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang padat penduduk dan pemukiman penduduk. Pada tanggal 28 Maret 2016 lalu, terjadi bencana Longsor di Clapar, Banjarnegara. Jembatan raya yang membentang mendadak meliuk. Jalan Raya tersebut terhanyut oleh aliran massa tanah.



Gambar 11. Peta administrasi kabupaten banjarnegara (sumber: Kementerian Pekerjaan Umum)

Kejadian bencana harus dinilai dengan cakupan wilayah kajian yang cukup untuk memudahkan penilaian. Jika dilihat lebih luas, desa ini berada pada wilayah yang rawan terkena dampak longsor apabila terjadi longsor pada bukit yang berada di sisi barat desa yang memiliki kriteria kemiringan sangat tinggi dengan arah kemiringan mengarah tepat ke desa. Lompatan kriteria kemiringan yang terdapat pada sisi barat desa yang mulai dari sangat rendah, menengah dan sangat tinggi, menjadikan desa ini berada pada wilayah rawan bencana longsor.

Saat gerakan tanah diawali pada 24 Maret 2016 pukul 19:00 WIB, yang disusul pada 25 Maret 2016 pukul 01:30 WIB dan pukul 06:00 WIB, luas area longsornya masih sebatas 5 hektar dengan keliling area 1,2 kilometer (Gambar 12). Dampak yang diakibatkan meliputi 9 rumah rusak berat, 3 rumah rusak sedang dan 2 rusak ringan dengan 29 rumah lain dalam kondisi terancam. Jumlah pengungsi mencapai 158 orang. Salah satu bentuk mitigasi dalam rangka menghadapi terjadinya bencana alam dan sekaligus untuk mengurangi dampak yang ditimbulkannya adalah tersedianya sistem peringatan dini (*early warning system*) termasuk di dalamnya tersedianya data dan informasi mengenai wilayah yang rentan terhadap bahaya longsor. Untuk itu diperlukan

upaya-upaya yang komprehensif untuk mengurangi resiko bencana alam, antara lain yaitu dengan melakukan kegiatan mitigasi.



Gambar 12. Contoh salah satu lokasi di Clapar Banjarnegara yang mengalami longsor

Penentuan posisi relatif dengan GNSS-CORS ini pada dasarnya sama dengan penentuan posisi relatif dengan pengamatan *receiver* GNSS pada umumnya. Pada penentuan posisi dengan metode relatif, posisi suatu titik ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya. Penentuan posisi relatif melibatkan setidaknya dua *receiver* GNSS, titik-titik stasiunnya statik (tidak bergerak) maupun bergerak (kinematik), dan pengolahan data umumnya dilakukan secara *post-processing* untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi (Abidin, 2002).

Pertama fungsikan GPS receiver pada area pengamatan, kemudian bawa receiver tersebut ke tempat yang ingin diketahui koordinatnya. Tempatkan receiver tersebut

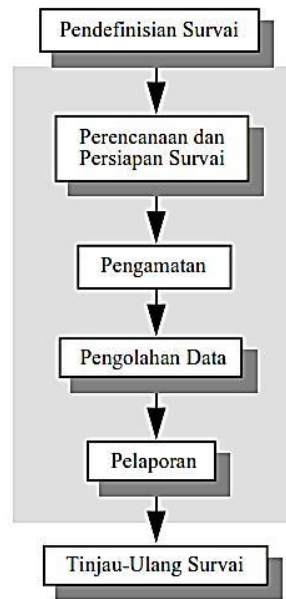
di area yang bersih tanpa gangguan di atasnya. Hidupkan receiver dan tunggu hingga koordinat, atau *waypoint* sebagaimana biasanya dapat disebut, muncul. Tulis koordinat tersebut pada note book atau pada form data lapangan GPS. Penyesuaian *Receiver* GPS Baru pada lokasi pengamatan Pertama kali anda menggunakan receiver GPS pada area pengamatan, receiver tersebut mesti disesuaikan pada wilayah.

Ada banyak model receiver GPS dan setiap receiver memiliki tombol berbeda untuk membuat penyesuaian, rujuklah manual untuk receiver GPS untuk mengetahui bagaimana mengerjakan penyesuaian fungsi. Berikut ini hal-hal dasar yang penting dalam penyesuaian yaitu Sistem koordinatnya baik UTM atau latitude dan longitude. Pasang receiver untuk menyajikan grid-grid yang ada pada peta rupabumi. Jika peta memiliki keduanya, maka nampaknya paling mudah menggunakan UTM, karena ini menyertakan pengukuran yang lebih sederhana.

Jika tidak memiliki peta rupabumi, maka gunakan latitude dan longitude. Satuan pengukuran memilih meter. Waktu mesti dipasang sesuai dengan zona waktu area pengamatan. Zona waktu adalah 'sejumlah jam' yang ditambahkan atau dikurangi dengan Greenwich Mean Time (GMT). Booklet instruksi memberi sebuah bagan untuk mengetahui zona waktu area pengamatan. Datum-datum adalah sistem koreksi kartografi yang mengkompensasikan irregularitas pada pada lingkaran bumi. Setiap seri peta rupabumi dibuat dengan menggunakan datum spesifik. Receiver GPS memiliki 25.100 datum yang berbeda untuk dipilih, tetapi semuanya didasarkan pada datum WGS 84. Peta rupabumi semestinya memiliki judul datum spesifik yang tertulis di dalamnya.

Tahapan pelaksanaan survei GPS

Proses pelaksanaan suatu survei GPS oleh suatu kontraktor (pelaksana), secara umum akan meliputi tahapan-tahapan : perencanaan dan persiapan, pengamatan (pengumpulan data), pengolahan data, dan pelaporan, seperti yang digambarkan secara skematik pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Tahapan umum pelaksanaan suatu survei GPS

Tingkat kesuksesan pelaksanaan suatu survei GPS akan sangat tergantung dengan tingkat kesuksesan pelaksanaan setiap tahapan pekerjaannya. Di antara tahapan-tahapan tersebut, tahap perencanaan dan persiapan adalah suatu tahap yang sangat menentukan, dan perlu dilakukan secara baik, sistematis, dan menyeluruh.

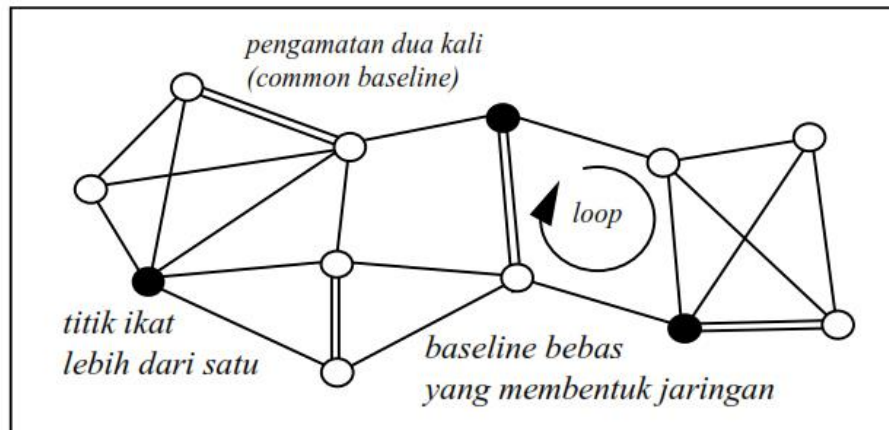
PERHITUNGAN

Strategi pengamatan suatu jaringan GPS, disamping harus optimal dipandang dari segi *ketelitian, biaya, dan waktu*, juga harus mengandung secara implisit suatu mekanisme *kontrol kualitas*. Dalam hal ini, ada beberapa strategi pengamatan yang dapat digunakan untuk mengontrol kualitas data pengamatan yaitu antara lain :

- a. Penggunaan hanya baseline-baseline bebas (non-trivial) yang membentuk suatu jaringan (kerangka) yang tertutup;
- b. Pengamatan beberapa baseline dalam suatu loop tertutup yang relatif tidak terlalu besar;
- c. Pengamatan suatu baseline dua kali pada beberapa sesi pengamatan yang berbeda (*common baseline*). Ini dilakukan biasanya pada baseline yang panjang dan pada baseline-baseline yang konektivitasnya pada suatu titik kurang kuat; dan

- d. Penggunaan beberapa titik ikat yang tersebar secara baik dalam jaringan.

Keempat strategi di atas umumnya diterapkan secara simultan dalam pengamatan suatu jaringan GPS, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 berikut:



Gambar 14. Strategi-strategi pengontrolan kualitas pengamatan (Abidin, 2007)

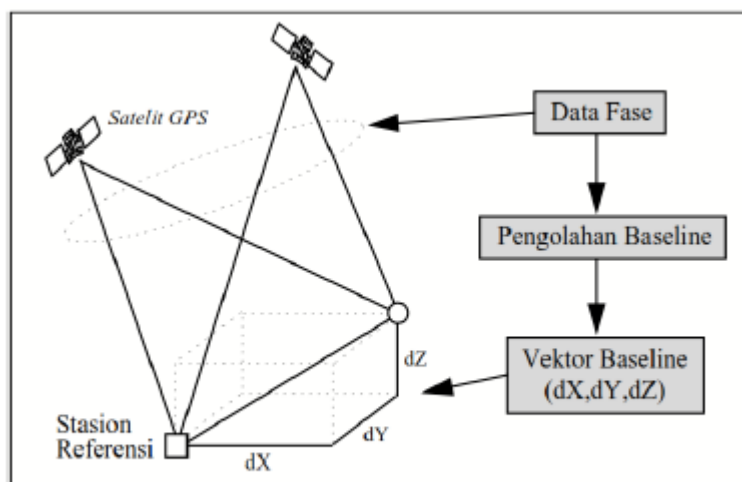
Pemrosesan awal (*Pre-Processing*) data pengamatan GNSS. Pemrosesan data pengamatan GNSS dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak. Untuk survei pemetaan digunakan perangkat lunak komersial seperti *SKI*, dan *Geogenius*. Sedangkan untuk keperluan yang menuntut ketelitian yang lebih tinggi seperti survei geodetik dan studi geodinamika, digunakan perangkat lunak ilmiah seperti *Bernesse*, *GAMIT*, dan *DIPOP*. Pada penelitian ini pengolahan data yang dilakukan adalah dengan metode *post-processing* hasil pengamatan GPS serta menggunakan *software Geogenius*. Sebelum dilakukan pengolahan data GNSS, dilakukan terlebih dahulu pemrosesan awal (*pre-processing*) data GNSS yang mencakup sebagai berikut :

1. **Pemrosesan Awal (*pre-processing*)**
 - a) Transfer, kompresi, dan memformat kembali data (termasuk di dalamnya pesan navigasi) dari receiver GNSS kedalam media penyimpanan komputer. Melakukan konversi file pengamatan GNSS yang masih berformat pabrikan dari receiver kedalam format RINEX (Receiver Independent Exchange) sehingga dapat dibaca oleh perangkat lunak pengolah data GNSS.
 - b) Menyiapkan data file ephemeris umum dari rekaman pesan navigasi atau precise ephemerides dari sumber eksternal
 - c) Melakukan screening data dengan berdasarkan pada kualitas flags atau satelit yang dibawah dari mask angle.

- d) Menghasilkan solusi awal posisi dari titik yang diamat biasanya melalui pengolahan data pseudorange.
- e) Menghasilkan perkiraan solusi dari *baseline* menggunakan data fase triple difference.
- f) Mendeteksi dan memperbaiki cycle slips dengan sejumlah metode.

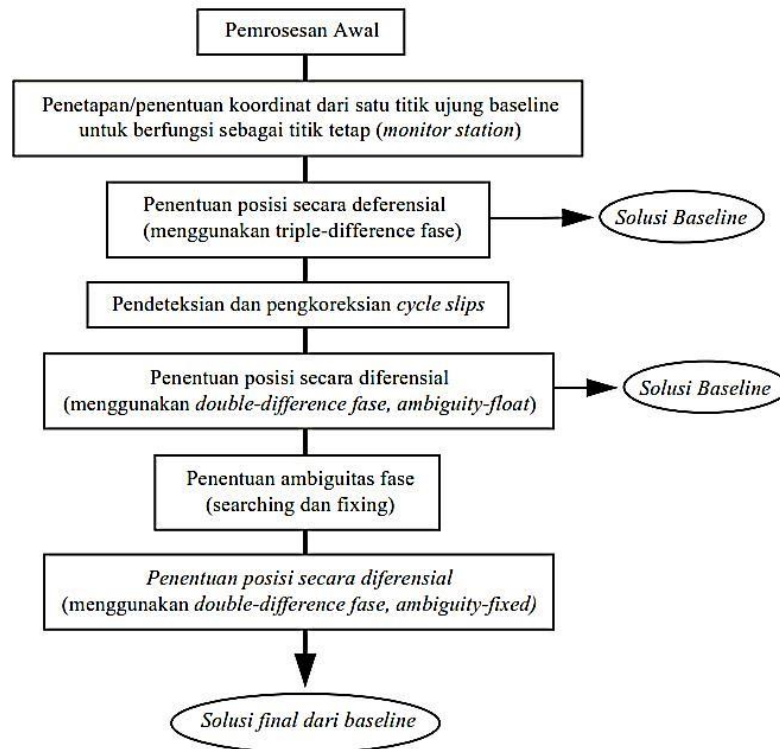
2. Pengolahan Baseline.

Pengolahan *baseline* pada dasarnya bertujuan menghitung vektor *baseline* (dX, dY, dZ) menggunakan data fase sinyal GNSS yang dikumpulkan pada dua titik ujung dari *baseline* yang bersangkutan, yang diilustrasikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengolahan data *baseline* GNSS (SNI JKH, 2002)

Pada survei GPS, pengolahan *baseline* umumnya dilakukan secara beranting satu persatu (*single baseline*) dari baseline ke baseline, dimulai dari suatu tetap yang telah diketahui koordinatnya, sehingga membentuk suatu jaringan yang tertutup. Tapi perlu juga dicatat di sini bahwa pengolahan baseline dapat dilakukan secara sesi per sesi pengamatan, dimana satu sesi terdiri dari beberapa baseline (*single session, multi baseline*). Pada proses pengestimasi vektor *baseline*, data fase *double-difference* digunakan. Meskipun begitu biasanya data pseudorange juga digunakan oleh perangkat lunak pengolahan baseline sebagai data pembantu dalam beberapa hal seperti penentuan koordinat pendekatan, sinkronisasi waktu kedua receiver GPS yang digunakan, dan pendeksian *cycle slips*. Secara skematik, tahapan perhitungan suatu (vektor) baseline ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Tahapan perhitungan suatu *baseline* GNSS (SNI JKH, 2002)

Untuk memeriksa kualitas dari vektor *baseline* yang diperoleh, ada beberapa indikator kualitas yang dapat dipantau, yaitu antara lain :

- a. rms (*root mean squares*), harga minimum dan maksimum, serta standar deviasi dari residual,
- b. faktor variansi a posteriori,
- c. matriks variansi kovariansi dari vektor *baseline*,
- d. hasil dari test statistik terhadap residual maupun vektor *baseline*,
- e. elips kesalahan relatif dan titik,
- f. kesuksesan dari penentuan ambiguitas fase serta tingkat kesuksesannya,
- g. jumlah data yang ditolak, dan jumlah cycle slips.

Disamping indikator-indikator kualitas di atas, kualitas suatu vektor *baseline* juga akan bisa dicek pada saat perataan jaringan.

3. Perataan Jaringan.

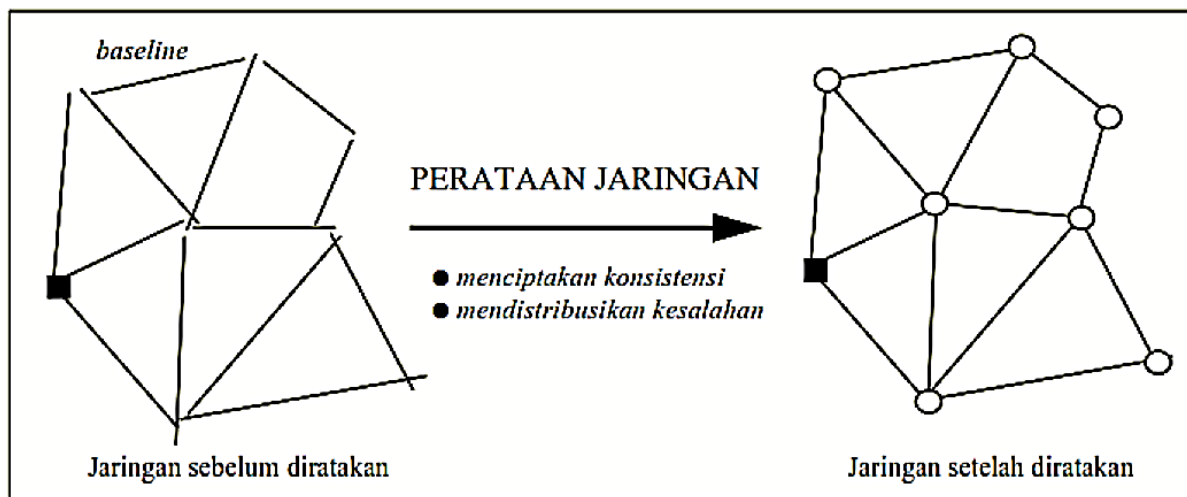
Pada perataan jaringan, vektor-vektor *baseline* yang telah dihitung sebelumnya secara sendiri-sendiri, dikumpulkan dan diproses dalam suatu hitung perataan jaringan (network adjustment) untuk menghitung koordinat final dari titik-titik dalam jaringan GNSS yang bersangkutan. Hitung perataan jaringan ini menggunakan metode perataan kuadrat terkecil (*least squares adjustment*).

Perataan jaringan GNSS umumnya dilakukan dalam dua tahap, yaitu perataan jaring bebas (free network adjustment) dan perataan jaring terikat (constrained network adjustment). Perataan jaring bebas dilakukan dengan hanya menggunakan satu titik tetap dan dimaksudkan untuk mengecek konsistensi data vektor *baseline*, satu terhadap lainnya. Setelah melalui tahapan perataan jaring bebas dan kontrol kualitasnya, selanjutnya vektor-vektor *baseline* yang „diterima“ diproses kembali dalam perataan jaring terikat. Pada perataan ini semua titik tetap digunakan, dan koordinat titik-titik yang diperoleh dan sukses melalui proses kontrol kualitas akan dianggap sebagai koordinat yang final.

Pada prinsipnya hitung perataan jaringan ini akan berguna untuk beberapa hal, yaitu :

- a. Untuk menciptakan konsistensi pada data-data ukuran vektor *baseline* ,
- b. Untuk mendistribusikan kesalahan dengan cara yang merefleksikan ketelitian pengukuran,
- c. Untuk menganalisa kualitas dari *baseline-baseline*, serta
- d. Untuk mengidentifikasi *baseline-baseline* serta titik-titik kontrol yang perlu dicurigai.

Secara ilustratif, kegunaan dari perataan jaringan ditunjukkan pada Gambar 17. Pada Gambar 18 ini ditunjukkan bahwa sebelum perataan jaringan dilakukan, *baseline-baseline* belum terintegrasi secara benar dan konsisten, dan koordinat titik-titik juga belum unik. Setelah hitung perataan, *baseline-baseline* akan terintegrasi secara benar dan konsisten, titik-titik akan mempunyai koordinat yang unik.



Gambar 17. Perataan jaring GNSS (SNI JKH, 2002)

Untuk mengecek kualitas dari koordinat yang diperoleh dari hitung perataan jaringan, ada beberapa indikator kualitas yang dapat dipantau, yaitu antara lain :

- a. RMS (*Root Mean Squares*), harga minimum dan maksimum, serta standar deviasi dari residual, faktor variansi a posteriori,
- b. Matriks variansi kovariansi dari koordinat
- c. Jumlah vektor *baseline* yang ditolak (outliers). Outliers adalah data pengamatan yang secara statistik dianggap tidak sesuai (*incompatible*) dengan data pengamatan lainnya dalam satu seri (Vanicek, 1986).
- d. Dimensi dari elips kesalahan relatif dan absolut,
- e. Hasil dari test statistik terhadap residual maupun koordinat,

Selanjutnya proses pengolahan data GPS Geodetik dilakukan menggunakan perangkat lunak komersil Geogenius yang sudah dibahas di buku sebelumnya dengan judul: Pemantauan Pergerakan Tanah Menggunakan GPS Geodeti

HASIL PERHITUNGAN

1. Hasil koordinat X Y Z.

Hasil estimasi kordinat X, Y, dan Z kala pertama dan ketelitiannya dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 4 menunjukkan hasil estimasi komponen X, Y, dan Z kala kedua dan ketelitiannya. Pada Tabel 5 menunjukkan hasil estimasi komponen X, Y, dan Z kala ketiga dan ketelitiannya. Pada Tabel 6 menunjukkan hasil estimasi komponen X, Y, dan Z kala keempat dan ketelitiannya. Hasil estimasi koordinat kala pertama, kedua, dan ketiga diperoleh dari hasil pengolahan data *GPS Geodetic* menggunakan *software Geogenius*.

Tabel 3. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada kala pertama beserta simpangan bakunya

TITIK	X_i (m)	Y_i (m)	Z_i (m)	σ_{Xi} (mm)	σ_{Yi} (mm)	σ_{Zi} (mm)
P1	363637,0058	9187100,36	769,05	5,3	5	12,9
P2	363629,6242	9186980,6	758,246	6,4	6,1	19,3
P3	363856,6577	9187119,05	762,256	7,6	6,2	18,6
P4	364465,6844	9189351,469	865,782	10,7	7,9	23,8
P5	364309,6167	9189622,287	837,657	9,2	6,4	22,5
P6	360974,9045	9191641,34	762,541	5,9	5,7	17,4
P7	361008,3442	9191664,067	767,066	5,8	5,4	14,7
P8	361056,4148	9191609,4	748,554	7,1	5,7	18,1

Tabel 4. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada kala kedua beserta simpangan bakunya

TITIK	X_i (m)	Y_i (m)	Z_i (m)	σ_{Xi} (mm)	σ_{Yi} (mm)	σ_{Zi} (mm)
P1	363637,016	9187100,370	769,020	5,5	4,7	15

P2	363629,635	9186980,596	758,270	15,7	7,6	37,5
P3	363856,662	9187119,054	762,199	5,2	5,3	12,8
P4	364465,700	9189351,501	865,740	9,6	5,5	16,3
P5	364309,587	9189622,331	837,678	8,2	5,6	18,2
P6	360974,922	9191641,334	762,581	4,8	4,3	13,9
P7	361008,338	9191664,076	767,104	7,8	8,5	16,4
P8	361056,431	9191609,474	748,494	6,2	4,1	12,7

Tabel 5. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada kala ketiga beserta simpangan bakunya

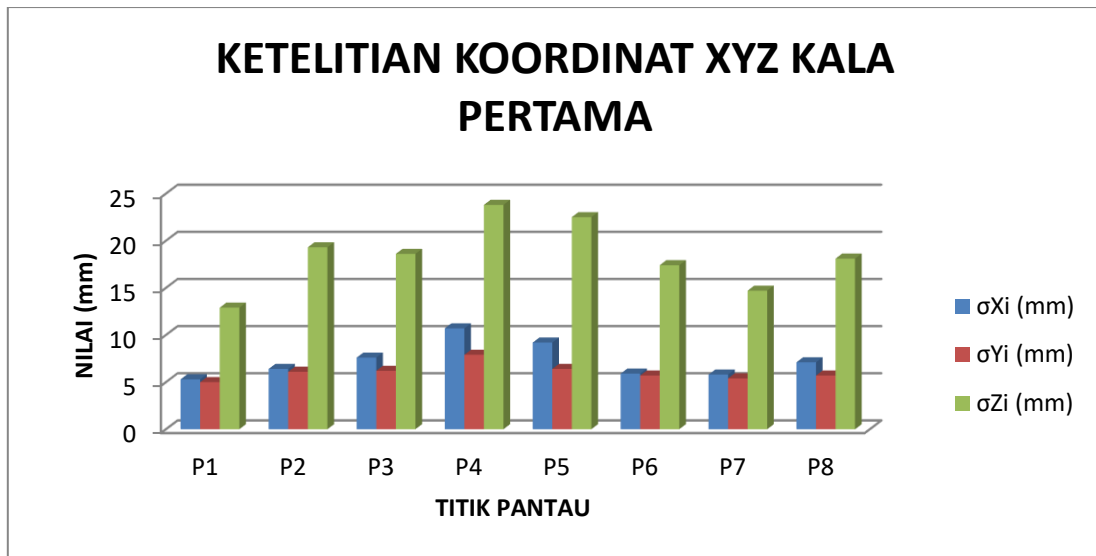
TITIK	X_i (m)	Y_i (m)	Z_i (m)	σ_{Xi} (mm)	σ_{Yi} (mm)	σ_{Zi} (mm)
P1	363637	9187100	769,017	12,9	20,4	53,7
P2	363629,7	9186981	758,212	39,5	42,3	73,1
P3	363856,7	9187119	762,141	26,5	24,1	61
P4	364465,5	9189351	865,394	17,5	31,2	54,7
P5	364309,5	9189622	837,556	33	54,9	88,4
P6	360974,9	9191641	762,671	15,8	22,3	58,7
P7	361008,4	9191664	767,118	27,5	21,8	58
P8	361056,4	9191609	748,652	19,1	32,2	58,9

Tabel 6. Nilai komponen 3D (X,Y, dan Z) pada kala keempat beserta simpangan bakunya

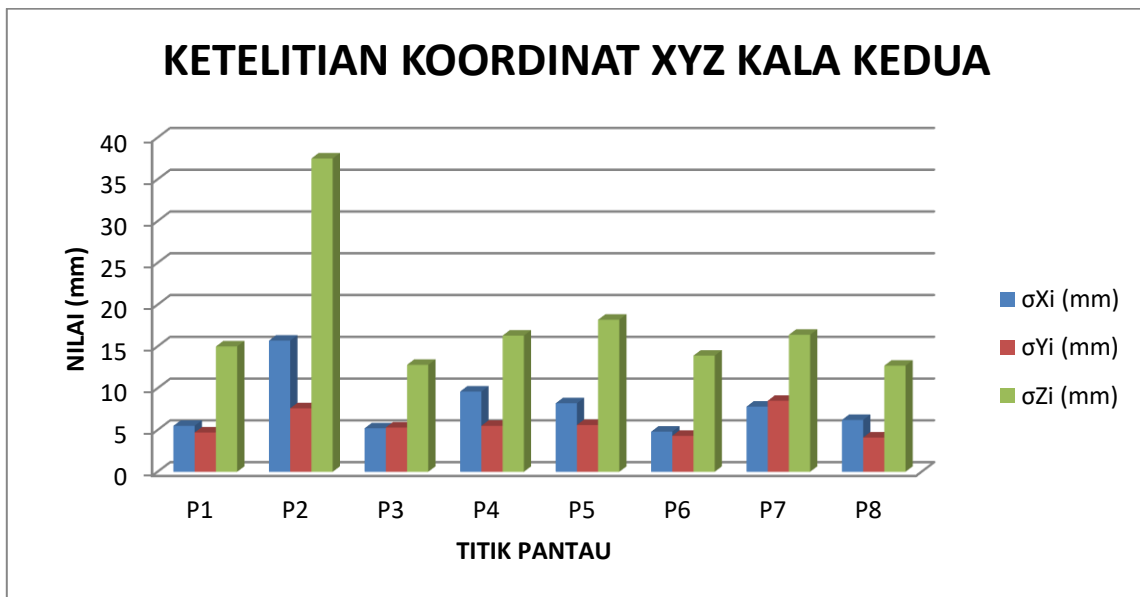
TITIK	X_i (m)	Y_i (m)	Z_i (m)	σ_{Xi} (mm)	σ_{Yi} (mm)	σ_{Zi} (mm)
P1	363637,023	9187100,4	769,09	2,7	2,1	8,4
P2	363629,638	9186980,6	758,23	4,8	4,4	10,1
P3	363856,659	9187119,1	762,24	3	2,8	7,6
P4	364465,687	9189351,5	865,71	7,2	5	16
P5	364309,613	9189622,3	837,66	6	4,1	13,8
P6	360974,936	9191641,3	762,56	2,7	3,3	6,4
P7	361008,34	9191664,1	767,03	2,6	2,2	7,8
P8	361056,481	9191609,5	748,58	4,9	3,7	10,9

2. Ketelitian komponen X, Y dan Z

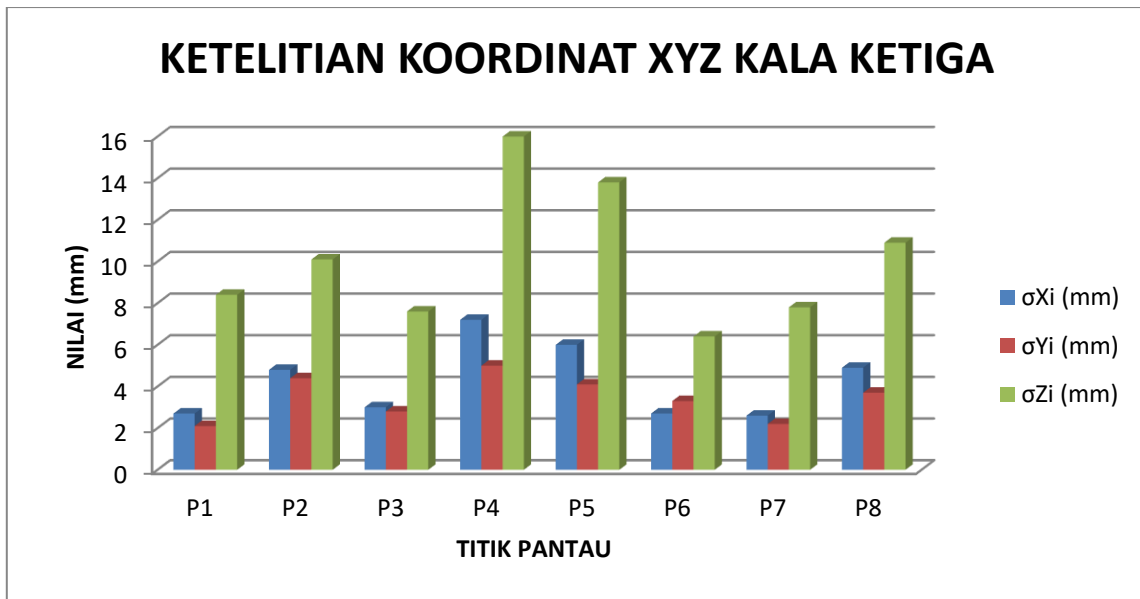
Pada Gambar 18, Gambar 19, Gambar 20, Gambar 21 dan Gambar 22 menunjukkan grafik ketelitian komponen X, Y dan Z kala pertama, kala kedua, kala ketiga dan kala keempat secara berturut-turut. Pada Gambar 38 menunjukkan perbandingan ketelitian koordinat XYZ setiap kala.



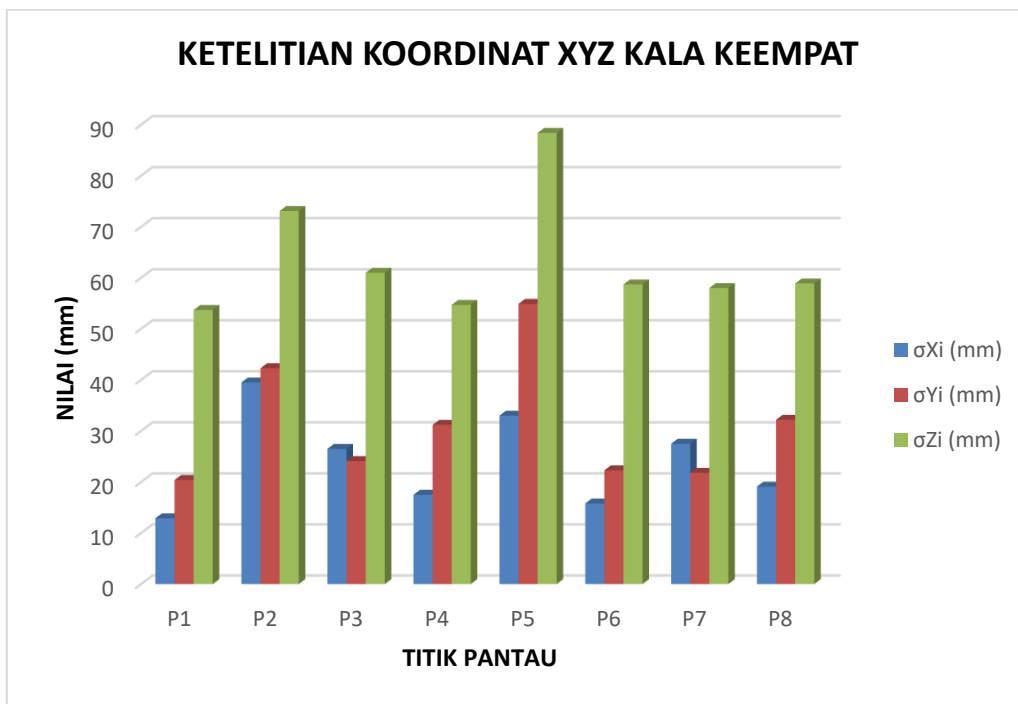
Gambar18. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala pertama



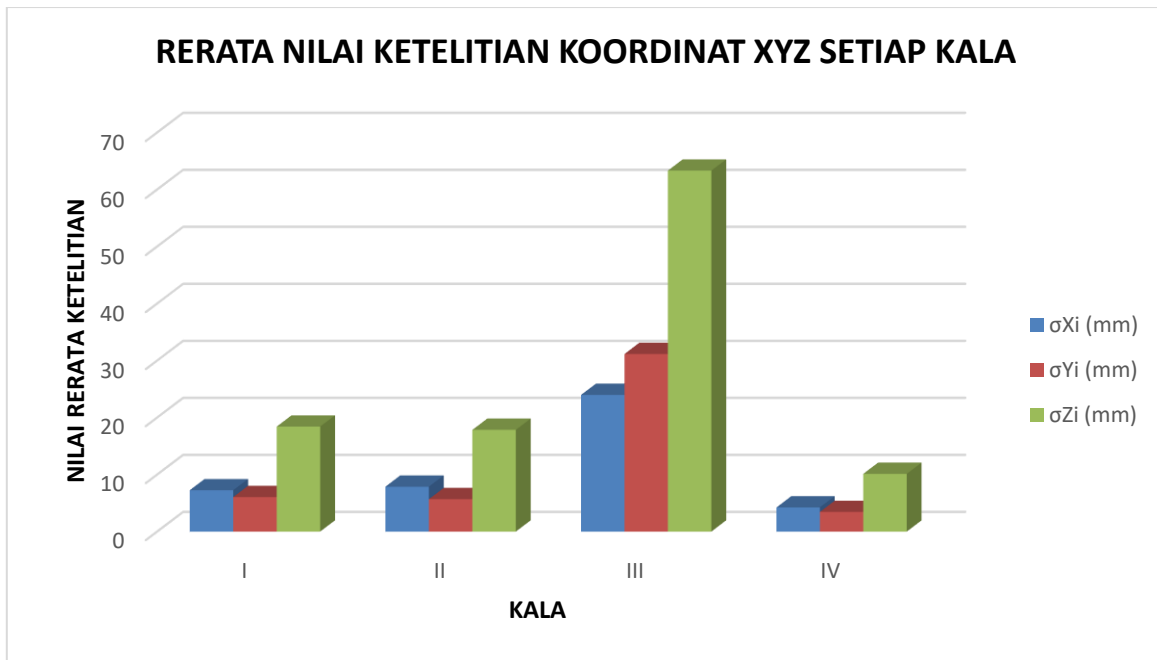
Gambar 19. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala kedua



Gambar 20. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala ketiga



Gambar 21. Grafik ketelitian koordinat X, Y dan Z pada kala keempat



Gambar 22 Grafik perbandingan ketelitian koordinat X, Y dan Z tiap kala

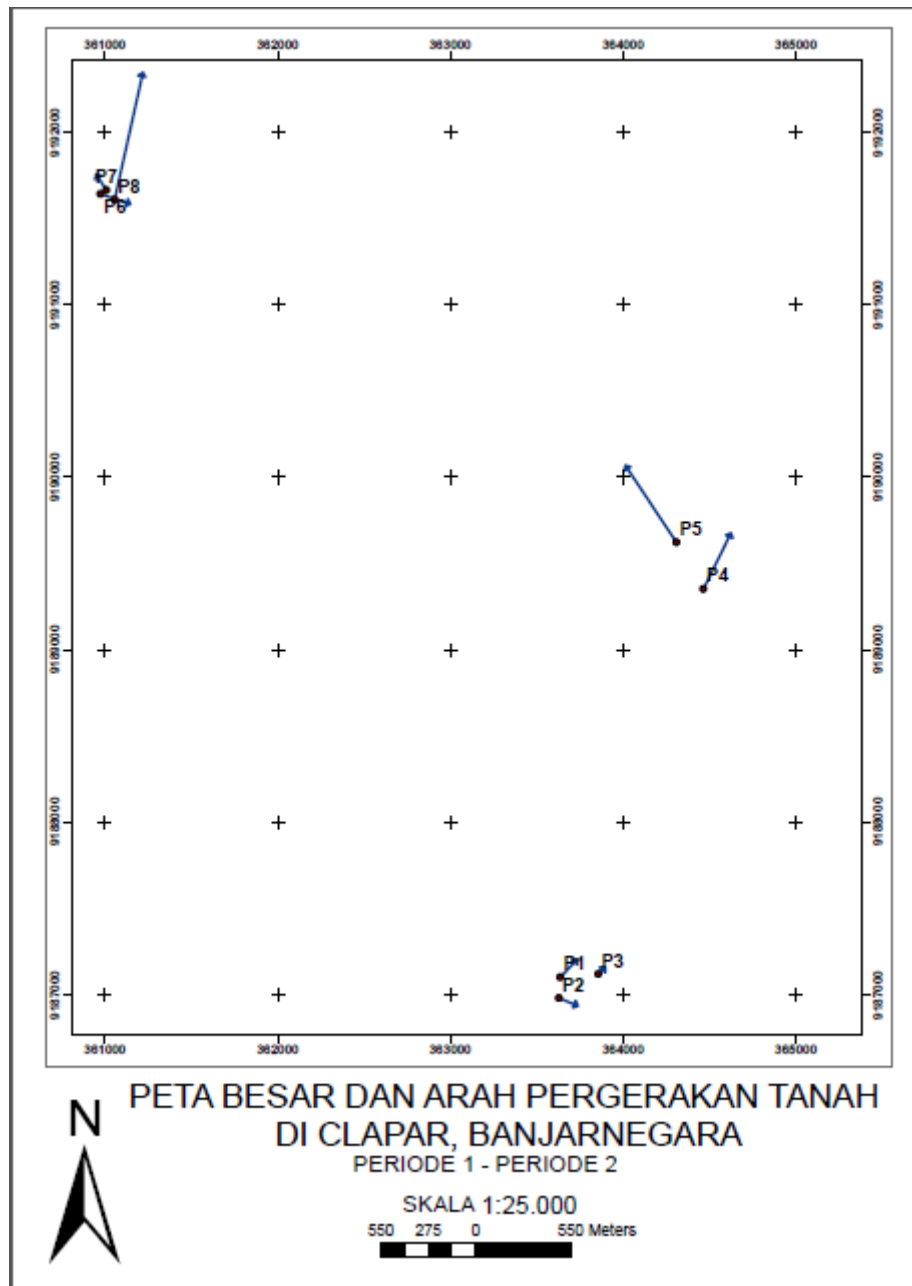
Berdasarkan Gambar 38 menunjukkan bahwa hasil pengukuran pada kala keempat memiliki rata-rata ketelitian koordinat XYZ paling teliti dibandingkan dengan hasil pengukuran pada kala pertama, kala kedua, dan kala ketiga. Ketelitian koordinat XYZ kala pertama dan kala kedua memiliki rata-rata ketelitian yang relatif sama.

3. Nilai Pergerakan Horizontal dan Vertikal

Pada Tabel 7 menunjukkan nilai pergerakan horizontal dan vertikal serta arah pergerakan horizontal pada kala pertama s.d kala kedua. Pada Tabel 8 menunjukkan nilai pergerakan horizontal dan vertikal serta arah pergerakan horizontal pada kala kedua s.d kala ketiga. Pada Tabel 9 menunjukkan nilai pergerakan horizontal dan vertikal serta arah pergerakan horizontal pada kala pertama s.d kala ketiga. Tabel 10 menunjukkan nilai pergerakan horizontal dan vertikal serta arah pergerakan horizontal pada kala ketiga s.d kala keempat Selanjutnya pada Gambar 39 s.d 42 menggambarkan besar dan arah pergerakan tanah di clapar dari kala pertama s.d kala kedua, kala kedua s.d kala ketiga, kala pertama s.d kala ketiga, dan kala ketiga s.d kala keempat secara berturut-turut. Pada nilai pergerakan vertikal terdapat nilai negatif, itu menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan tanah, jika nilai positif berarti menunjukkan adanya kenaikan tanah.

Tabel 7. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala pertama s.d kedua

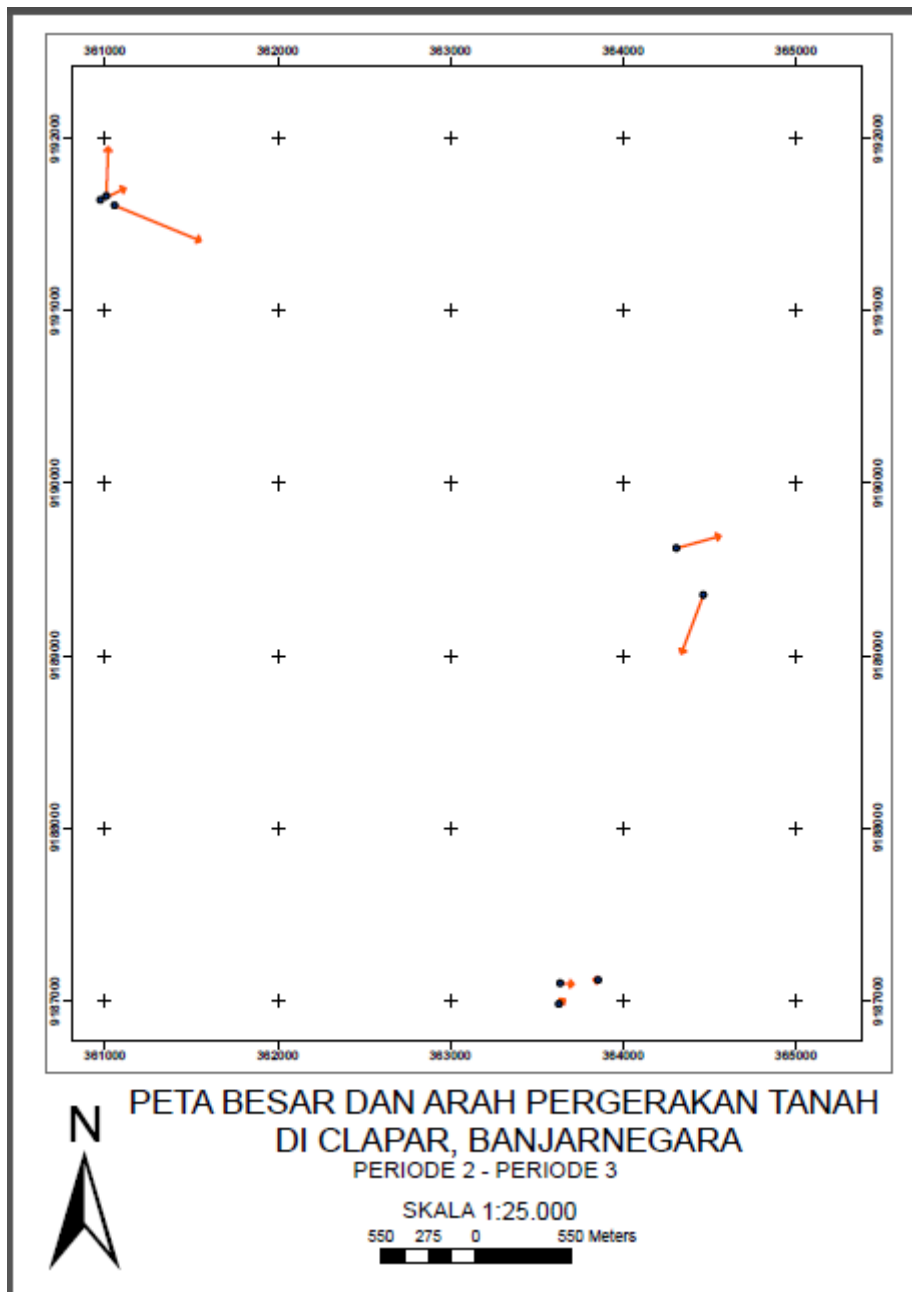
TITIK	PERGERAKAN HORIZONTAL (CM)	PERGERAKAN VERTIKAL (CM)	ARAH (DERAJAT)
P1	1,433404975	-3,000	43,07767
P2	1,167578707	2,400	113,0955
P3	0,564278254	-5,700	44,71281
P4	3,598374	-4,200	26,15204
P5	5,338993577	2,100	326,3814
P6	1,813891361	4,000	108,6147
P7	1,090240896	3,800	327,549
P8	7,52575182	-6,000	12,5478



Gambar 23. Besar dan arah pergerakan tanah

Tabel 8. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala kedua s.d ketiga

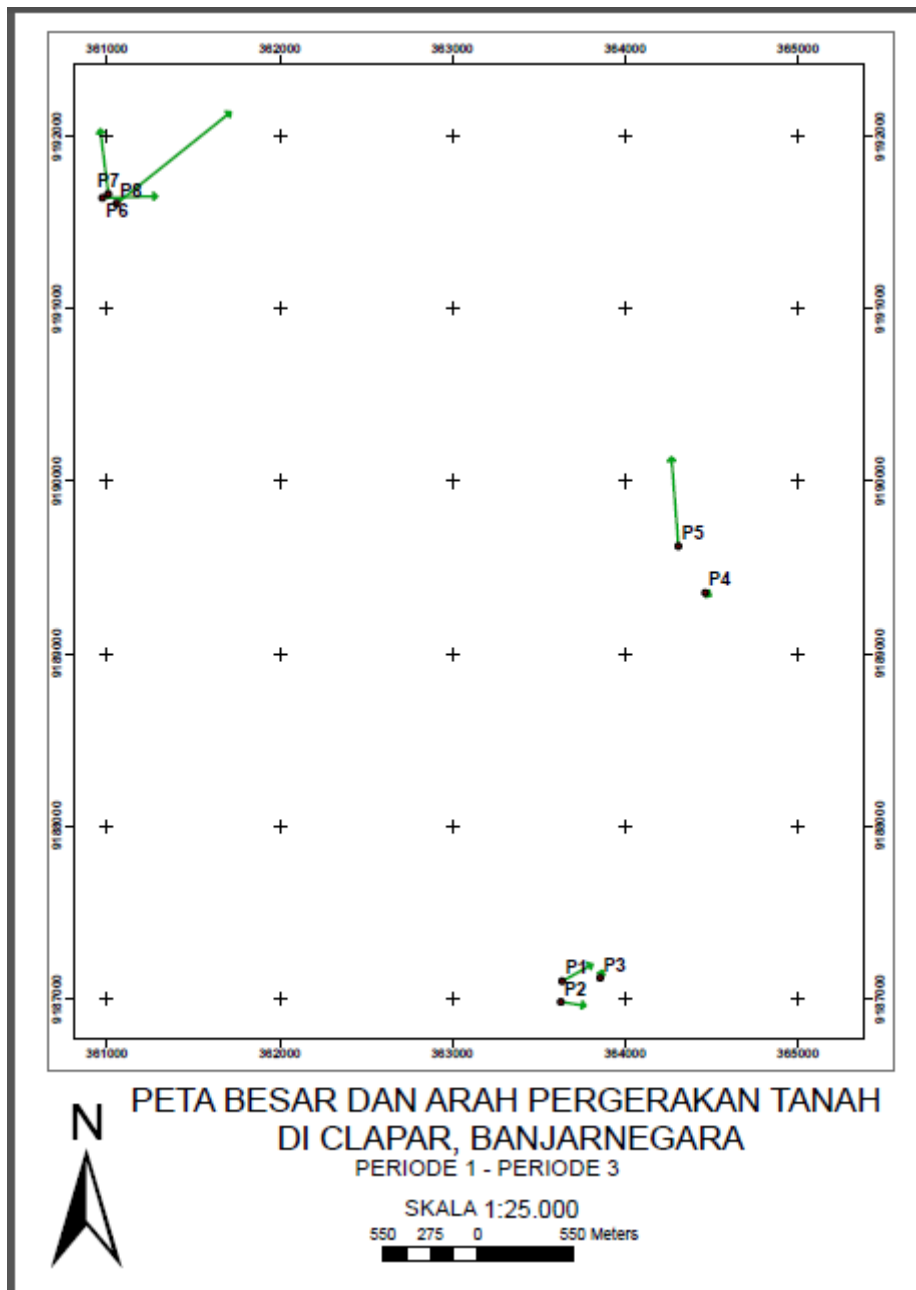
TITIK	PERGERAKAN HORIZONTAL (CM)	PERGERAKAN VERTIKAL (CM)	ARAH (DERAJAT)
P1	0,768346283	6,60000	94,4787815
P2	0,417825305	-4,40000	53,7609095
P3	0,277625662	4,20000	276,203476
P4	3,61670137	-3,50000	20,7099422
P5	2,641063819	-1,90000	74,3376969
P6	1,591578129	-1,80000	64,706907
P7	2,828338917	-7,80000	2,33028356
P8	5,37760285	8,90000	112,339569



Gambar 24. Besar dan arah pergerakan tanah

Tabel 9. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala pertama s.d ketiga

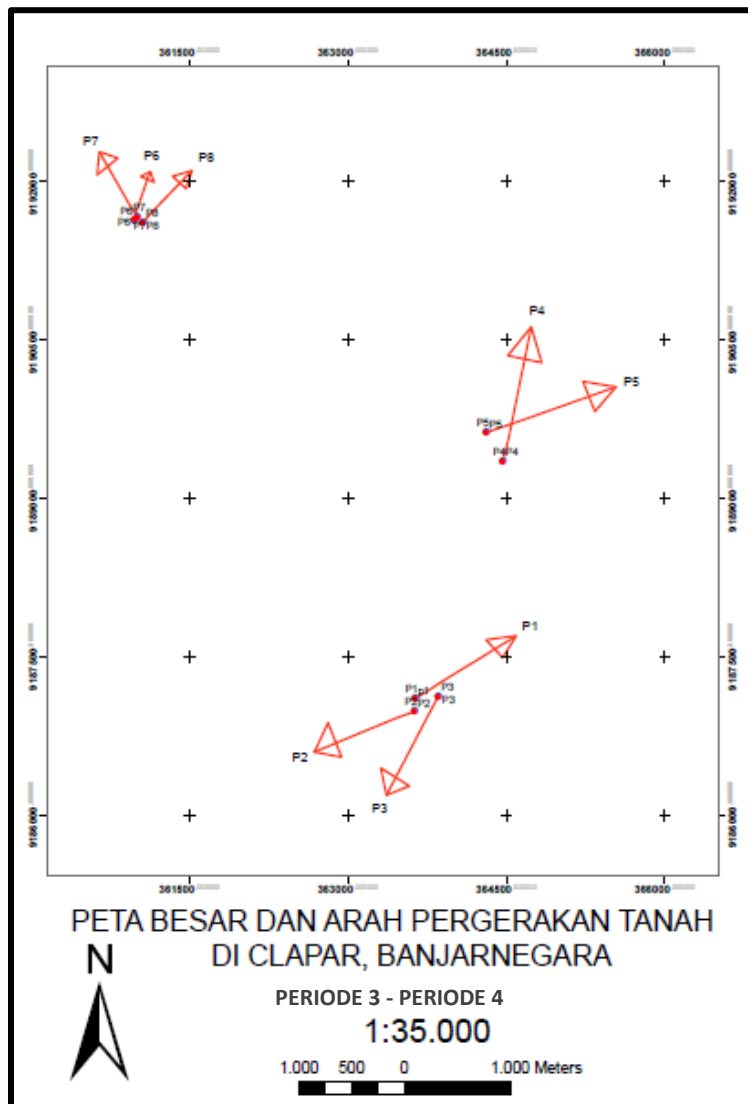
TITIK	PERGERAKAN HORIZONTAL (CM)	PERGERAKAN VERTIKAL (CM)	ARAH (DERAJAT)
P1	2,004792673	3,60000	60,50681
P2	1,426689184	-2,00000	98,50495
P3	0,447662886	-1,50000	15,68168
P4	0,343013076	-7,70000	116,4903
P5	5,175504927	0,20000	355,423
P6	3,159614689	2,20000	88,16817
P7	3,775369768	-4,00000	352,8486
P8	8,472902896	2,90000	51,26204



Gambar 25 Besar dan arah pergerakan tanah

Tabel 10. Nilai dan arah pergerakan horizontal dan vertikal kala ketiga s.d kala keempat

TITIK	PERGERAKAN HORIZONTAL (CM)	PERGERAKAN VERTIKAL (CM)	ARAH (DERAJAT)
P1	1,179706	-6,9	1,08098867
P2	5,366255	-1,4	1,13690481
P3	4,930074	-10	0,48260743
P4	58,84226	-31,1	0,29232278
P5	15,08562	-10,3	1,26837413
P6	2,526615	10,8	0,28031118
P7	5,340888	9,2	-0,6570199
P8	12,9787	6,9	0,76839893



Gambar 14. Besar dan arah pergerakan tanah

4. Hasil Analisis Pergerakan Horizontal dan Vertikal

Nilai pergerakan horizontal dan vertikal yang telah diperoleh pada setiap interval kalanya, lalu dilakukan analisis pergerakan horizontal dan vertikal menggunakan uji statistik, yaitu uji beda signifikansi parameter. Uji statistik tersebut dilakukan untuk mengetahui bahwa nilai pergerakan horizontal dan vertikal yang didapat, disebabkan oleh adanya pergerakan ataukah hanya karena disebabkan oleh adanya kesalahan acak

pada pengukuran titik pantau. Pada Tabel 11 menunjukkan hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d II.

Tabel 11. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d II

Titik	Koordinat (i)	$T = \frac{X_i - X_{ii}}{\sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{xii}^2}}$	(T tabel = 2, 228)	Hasil uji
P1	X	1,28E-06	2, 228	diterima
	Y	1,526E-06	2, 228	diterima
	Z	-1,52E-06	2, 228	diterima
P2	X	6,335E-07	2, 228	diterima
	Y	-4,7E-07	2, 228	diterima
	Z	5,691E-07	2, 228	diterima
P3	X	4,311E-07	2, 228	diterima
	Y	4,916E-07	2, 228	diterima
	Z	-2,52E-06	2, 228	diterima
P4	X	1,103E-06	2, 228	diterima
	Y	3,355E-06	2, 228	diterima
	Z	-1,46E-06	2, 228	diterima
P5	X	-2,4E-06	2, 228	diterima
	Y	5,228E-06	2, 228	diterima
	Z	7,257E-07	2, 228	diterima
P6	X	2,26E-06	2, 228	diterima
	Y	-8,11E-07	2, 228	diterima

	Z	1,796E-06	2, 228	diterima
P7	X	22,023851	2, 228	diterima
	Y	-6,02E-07	2, 228	diterima
	Z	9,136E-07	2, 228	diterima
P8	X	1,735E-06	2, 228	diterima
	Y	1,046E-05	2, 228	diterima
	Z	-2,71E-06	2, 228	diterima

Berdasarkan pada Tabel 12 menunjukkan bahwa hasil ujinya diterima, Pada Tabel 12 menunjukkan hasil uji beda signifikansi parameter kala II s.d III.

Tabel 12. Hasil uji beda signifikansi parameter kala II s.d III

Titik	Koordinat (i)	$T = \frac{X_i - X_{ii}}{\sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{xii}^2}}$	(T tabel = 2, 228)	Hasil uji
P1	X	1,2502E-06	2, 228	diterima
	Y	-1,16554E-07	2, 228	diterima
	Z	3,83903E-06	2, 228	diterima
P2	X	2,0527E-07	2, 228	diterima
	Y	2,81264E-07	2, 228	diterima
	Z	-1,13296E-06	2, 228	diterima
P3	X	-4,59745E-07	2, 228	diterima
	Y	5,00489E-08	2, 228	diterima
	Z	2,8214E-06	2, 228	diterima

P4	X	-1,06583E-06	2,228	diterima
	Y	-4,5513E-06	2,228	diterima
	Z	-1,53236E-06	2,228	diterima
P5	X	2,50278E-06	2,228	diterima
	Y	1,02731E-06	2,228	diterima
	Z	-8,31862E-07	2,228	diterima
P6	X	2,61291E-06	2,228	diterima
	Y	1,25454E-06	2,228	diterima
	Z	-1,17627E-06	2,228	diterima
P7	X	1,3987E-07	2,228	diterima
	Y	3,21865E-06	2,228	diterima
	Z	-4,29506E-06	2,228	diterima
P8	X	6,29419E-06	2,228	diterima
	Y	-3,7011E-06	2,228	diterima
	Z	5,31782E-06	2,228	diterima

Berdasarkan pada Tabel 13 menunjukkan bahwa hasil ujinya diterima,. Pada Tabel 13 menunjukkan hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d III. Berdasarkan pada Tabel 13 menunjukkan bahwa hasil ujinya diterima.

Tabel 13. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d III

Titik	Koordinat (i)	$T = \frac{X_i - X_{ii}}{\sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{xii}^2}}$	(T tabel = 2, 228)	Hasil uji
P1	X	2,93371E-06	2, 228	diterima
	Y	1,81999E-06	2, 228	diterima
	Z	2,3386E-06	2, 228	diterima
P2	X	1,76375E-06	2, 228	diterima
	Y	-2,80537E-07	2, 228	diterima
	Z	-9,18146E-07	2, 228	diterima
P3	X	1,48091E-07	2, 228	diterima
	Y	6,3355E-07	2, 228	diterima
	Z	-7,46537E-07	2, 228	diterima
P4	X	2,38042E-07	2, 228	diterima
	Y	-1,63648E-07	2, 228	diterima
	Z	-2,68496E-06	2, 228	diterima
P5	X	-3,76014E-07	2, 228	diterima
	Y	6,78757E-06	2, 228	diterima
	Z	7,57723E-08	2, 228	diterima
P6	X	4,86711E-06	2, 228	diterima
	Y	1,53348E-07	2, 228	diterima
	Z	1,18664E-06	2, 228	diterima
P7	X	-7,39447E-07	2, 228	diterima

	Y	6,42434E-06	2, 228	diterima
	Z	-2,40367E-06	2, 228	diterima
P8	X	7,6611E-06	2, 228	diterima
	Y	7,80212E-06	2, 228	diterima
	Z	1,37254E-06	2, 228	diterima

Berdasarkan pada Tabel 14 menunjukkan bahwa hasil ujinya ada yang diterima dan tidak diterima. Pada Tabel 14 menunjukkan hasil uji beda signifikansi parameter kala III s.d IV. Berdasarkan pada Tabel 14 menunjukkan bahwa hasil ujinya ada yang diterima dan tidak diterima.

Tabel 14. Hasil uji beda signifikansi parameter kala I s.d III

Titik	Koordinat (i)	$T = \frac{X_i - X_{ii}}{\sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{xii}^2}}$	(T tabel = 2, 228)	Hasil uji
P1	X	-0,789861271	2, 228	diterima
	Y	-0,27063	2, 228	diterima
	Z	-123,353	2, 228	Tidak diterima
P2	X	1,223656553	2, 228	diterima
	Y	0,530471	2, 228	diterima
	Z	-87,7944	2, 228	Tidak diterima
P3	X	0,857916223	2, 228	diterima
	Y	1,799926	2, 228	diterima

	Z	-161,472	2, 228	Tidak diterima
P4	X	-8,960926673	2, 228	Tidak diterima
	Y	-17,8321	2, 228	Tidak diterima
	Z	-367,992	2, 228	Tidak diterima
P5	X	-4,293548659	2, 228	Tidak diterima
	Y	-0,81612	2, 228	diterima
	Z	-192,471	2, 228	Tidak diterima
P6	X	-0,436083611	2, 228	diterima
	Y	-1,07706	2, 228	diterima
	Z	48,95214	2, 228	Tidak diterima
P7	X	1,180915552	2, 228	diterima
	Y	-1,9301	2, 228	diterima
	Z	33,47787	2, 228	Tidak diterima
P8	X	-4,574380006	2, 228	Tidak diterima
	Y	-2,87919	2, 228	Tidak diterima

	Z	9,099917	2,228	Tidak diterima
--	---	----------	-------	----------------

Berdasarkan pada Tabel 14 menunjukkan bahwa hasil ujinya tidak diterima untuk pergerakan secara vertikal di semua titik pantau, selanjutnya pada titik P4 dan P5 mengalami pergerakan horizontal juga dengan ditunjukkan hasil tidak diterima pada uji statistiknya. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian adalah Berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji statistik yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa nilai pergerakan horizontal dan vertikal yang terjadi pada kala ketiga sampai dengan kala keempat terjadi pada titik kontrol P4 dan P5. Untuk P1 hingga P8 telah terjadi pergerakan secara vertikal saja. Oleh karena itu titik kontrol P1, P2, P3, P6, P7, dan P8 tidak mengalami pergerakan secara horizontal.

Hal tersebut sesuai dengan kondisi selama pengukuran, yaitu dalam waktu satu tahun (kala ketiga hingga kala keempat) telah terjadi hujan dalam waktu yang cukup lama. Sehingga terjadi pergerakan baik secara horizontal maupun vertikal pada titik-titik kontrol tersebut. Pada Tabel 15 menunjukkan besarnya nilai pergerakan horizontal dan vertikal yang terjadi dari kala ketiga hingga kala keempat beserta arahnya.

Tabel 15. Besar pergerakan horizontal dan vertikal yang terjadi

TITIK	HORIZONTAL (m)	VERTIKAL (m)	HORIZONTAL (mm)	VERTIKAL (mm)	ARAH (RADIAN)
P1	tidak	-0,0690	tidak	-69,0	1,08098867
P2	mengalami pergerakan horizontal	-0,0140	mengalami pergerakan horizontal	-14,0	1,13690481
P3		-0,1000		-100,0	0,48260743
P4	0,588422602	-0,3110	588,4226019	-311,0	0,29232278
P5	0,150856173	-0,1030	150,8561732	-103,0	1,26837413
P6	tidak	0,1080	tidak	108,0	0,28031118
P7	mengalami pergerakan horizontal	0,0920	mengalami pergerakan horizontal	92,0	-0,6570199
P8		0,0690		69,0	0,76839893

Berdasarkan Tabel 15 menunjukkan bahwa pada titik kontrol P4 mengalami pergerakan horizontal sebesar 0,58 meter, dan titik kontrol P5 mengalami pergerakan horizontal sebesar 0,15 meter. Selanjutnya pada titik kontrol P4 mengalami pergerakan vertikal paling tinggi sebesar 0,31 meter, untuk titik kontrol P2 mengalami pergerakan vertikal paling kecil yaitu sebesar 0,01 meter. Tanda minus pada pergerakan vertikal menunjukkan adanya pergerakan turun. Tanda plus pada pergerakan vertikal menunjukkan adanya kenaikan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., 1995, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Abidin, H.Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., dan Abdullah, C.I., 2009, *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*, Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No.4 Desember 2009: 275-284.
- Abidin, H.Z., Jones, A., dan Kahar, J., 2002, *Survei dengan GPS*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- Abidin, H.Z., C. Subarya, B. Muslim, F.H. Adiyanto, I. Meilano, H. Andreas, dan I. Gumilar, 2010, *The Applications of GPS CORS in Indonesia: Status, Prospect and Limitation*, Proceedings of the FIG Congress 2010, TS 4C - GNSS CORS Networks - Infrastructure, Analysis and Applications II, Sydney, Australia, 11-16 April 2010.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, I. Gumilar, F.H. Adiyanto, W. Rusmawar, dan Firmansyah, 2011, *On the Use of GPS CORS for Cadastral Survey in Indonesia*, Proceedings of the FIG Working Week 2011, TS03G - GNSS CORS Networks Case Studies (Flash), Marrakech, Morocco, 18-22 May 2011.
- Aditiya, A., Efendi, J., dan Syafii, A., 2014, *InaCORS : Infrastructure of GNSS CORS in Indonesia*, FIG Congress 2014 Engaging the Challenges, Enhancing the Relevance, Kuala Lumpur, Malaysia, 16 – 21 Juni 2014.
- Anonim., 2002, *Standar Nasional Indonesia Jaring Kontrol Horizontal*, Badan Standarisasi Nasional. Diakses 4 November 2014.
- Apriyanti, D., 2015, *Analisis Pergerakan Aspek Geometrik 3d Pada Titik Kontrol Pemantauan Bendungan Waduk Sermo*, Tesis, Jurusan Pascasarjana Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
- Baarda, W., 1967, *Statistical Concepts in Geodesy*, Publications on Geodesy, New Series, Delf.

- Bayrak, T., 2007, *Modelling the Relationship between Water Level and Vertical Displacements on the Yamula Dam, Turkey*, National. Hazards Earth System. Science., Vol. 7, hal. 289–297.
- Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J.F. Genrich, C.W. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S.S.O Puntodewo, dan E. Calais, 2003, *Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements*, Journal of Geophysical Research, Vol. 108, No. B8, 2367, doi:10.1029/2001JB000324, 2003.
- Cai, J. dan Grafarend, W., 2006, *Strain Analysis of Geodetic Deformation (Strain Rate) Derived from the Space Geodetic Measurements of BIFROST Project in Fennoscandia*, Journal of Geodynamics, Science Direct Vol. 43 (2007), 214-238.
- Caspary, W.F., 1987, *Concept of Network and Deformation Analysis*, 1st Edition School of Surveying The University of New South Wales, Monograph 11, Kensington, N.S.W.
- Chen, Y.Q., 1988, *Deformation Surveys in P.R. China*, Proceedings of 5th International (FIG) Symposium on Deformation Measurements and 5th Canadian Symposium on Mining Surveying and Rock Deformation Measurements, Department of Surveying Engineering, University of Brunswick, Canada.
- Chzranowski, A. dan Chen, Y.Q., 1986, *Report of the Ad Hoc Committee on the Analysis of Deformation Surveys*, XVIII International Congress FIG, Canada.
- Duong, N.A., T. Sagiya, F. Kimata, T.D. To, dan V.Q. Hai., 2013, *Contemporary Horizontal Crustal Movement Estimation for Northwestern Vietnam Inferred from Repeated GPS Measurements*. Earth Planets Space, 65, 1399–1410, 2013. doi:10.5047/eps.2013.09.010.
- El-Rabbany, A., 2002, *Introduction to GPS, The Global Positioning System*, 2nd Edition, Artech House. Inc, Boston.
- Fajriyanto., Suyadi., Citra, D., dan Irwan, M., 2013, *Estimasi Laju Geser dan Pembuatan Model Deformasi di Selat Sunda dengan Menggunakan GPS Kontinyu*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi V, Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Lampung.

- Hanifa, N.R., 2007, *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto-Focus untuk Pemantauan Deformasi*, Tesis, Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Hu, Jyr-Ching, dan Angelier, Jacques, 1996, *Modeling of Stress-deformation Relationships in Collision Belt : Taiwan*, TAO, Vol. 7, No. 44, 447-465, December 1996.
- Kious, J.W. dan Tilling, R.I., 1996, *The Dynamic of Earth : The Story of Plates Tectonics*, Online Edition, USGS.
- Klobuchar, J.A., 1996, *Ionospheric Effects on GPS*, dalam : Parkinson, B.W. dan Spilker, J.R.(Ed.), *Global Positioning System : Theory and Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington DC, USA, halaman 485-514.
- Kuang, S., 1996, *Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concepts and Applications*, Ann Arbor Press Inc., Chelsea Michigan.
- Leick, A., 2004, *GPS Satellite Surveying 3rd edition*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Canada.
- Lestari, D., 2006, *GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site*, Thesis, School of Surveying and Spatial Information System, University of New South Wales.
- NASA, *The IGS Tracking Network*, <https://igsceb.jpl.nasa.gov/network/complete.html> (diakses tanggal 13 Mei 2017).
- Panuntun, H., 2012, *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional Dan Global*, Tesis, Program Studi S-2 Teknik Geomatika, Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Prasedya, A.S., 2015, *Analisis Regangan 2d Lempeng Tektonik Di Patahan Sumatra Berdasarkan Data Pengamatan Gnss Tahun 2010 Sampai 2013*, Tesis, Program Studi S-2 Teknik Geomatika, Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Prihandito, A., 1988, *Proyeksi Peta*, cetakan pertama, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

- Rizos, C., 1997, *Principles and Practice of GPS Surveying*, The School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Sulasdi, W.N., 1995, *Makna Kerangka Referensi dalam Analisis Deformasi*, Pertemuan Ilmiah Tahunan XX Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Yogyakarta.
- Sunantyo, T.A., Basah, S.K., Fakrurazzi, D., Adin, S., Adhi, D., dan Susilo, A., 2012, *Design and Installation for Dam Monitoring using Multi Sensors: A Case Study at Sermo Dam, Yogyakarta Province, Indonesia*, FIG Working Week 2012, Rome.
- Sunantyo, T.A., dan Basuki, S., (2012), *Pendefinisian Base Station untuk Pemantauan Deformasi di Waduk Sermo, Daerah Istimewa Yogyakarta*, Proceeding of Annual Engineering Seminar 2012, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University.
- Tape, C., P. Muse, M. Simons, D. Dong, dan F. Webb, 2009, *Multiscale Estimation of GPS Velocity Fields*, Geophysics International Journal, (2009), 179, 945-971.
- Ulinnuha., H, 2015, *Analisis Deformasi Aspek Geometrik Segmen Mentawai Akibat Gempa Tektonik 10 Juli 2013*, Tesis, Jurusan Pascasarjana Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- USGS, *United States Geological Survey*, <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/> (diakses tanggal 7 Mei 2017).
- Whittaker, J.M., R.D. Muller, M. Sdrolias, dan C. Heine, 2007, *Sunda-Java Trench Kinematics, Slab Window Formation and Overriding Plate Deformation since the Cretaceous*, Earth and Planetary Science Letters 255 (2007) 445–457. Elsevier Journal.
- Widjajanti, N., 2010, *Deformation Analysis of Offshore Platform using GPS Technique and its Application in Structural Integrity Assessment*, Ph.D Disertasi, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia.
- Widjajanti N., 1997, *Analisis Deformasi–Status Geometrik Dua Dimensi dengan Pendekatan Generalisasi Matriks Kebalikan*, Tesis, Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Yulaikhah dan Andaru, R., 2013, *Analisis Pergerakan Kerangka Kontrol Sermo, Kulonprogo Tahun 2012-1013*, Laporan Akhir Penelitian, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

GLOSARIUM

Absolute Positioning adalah pengukuran posisi dengan menggunakan GPS Receiver tanpa titik kontrol/titik ikat.

Analisis adalah memecah atau menguraikan suatu keadaan atau masalah kedalam beberapa bagian atau elemen dan memisahkan bagian tersebut untuk dihubungkan dengan keseluruhan atau dibandingkan dengan yang lain.

Atribut/Data non spasial adalah Item data yang menggambarkan penjelasan/informasi dari suatu entitas.

Baseline adalah Garis/jarak antar titik yang telah diketahui koordinatnya.

Bench Mark (BM) yaitu suatu monument /tugu yang dijadikan sebagai titik Referensi baik untuk posisi horizontal atau vertical.

Dampak (Impacts) Adalah ukuran tingkat pengaruh sosial, ekonomi, lingkungan atau kepentingan umum lainnya yang dimulai oleh capaian kinerja setiap indikator dalam suatu kegiatan.

Data adalah unsur dasar yang membentuk informasi adalah gambaran dari sekumpulan fakta, konsep atau instruksi yang tersusun dalam suatu cara atau bentuk yang formal sehingga sesuai untuk komunikasi, interpretasi atau pemrosesan secara manual atau secara otomatis.

Data Perubahan adalah perubahan kawasan serta potensi hutan baik penambahan maupun pengurangan berdasarkan kondisi dan tipe hutan dalam kurun waktu 1 (satu) tahun.

Data Spasial adalah data yang terkait atau berhubungan dengan lokasi/posisi geografis.

Deformasi/pergerakan adalah perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena diterapkan gaya (energi deformasi dalam hal ini ditransfer melalui kerja)

Elipsoid adalah suatu bentuk pendekatan model bumi yang dipakai untuk memudahkan baik perhitungan maupun penunjukkan suatu titik di bumi dengan besar-besaran matematika.

Geodesi adalah Ilmu pengetahuan dan teknologi yang mempelajari dan menyajikan informasi bentuk permukaan bumi dengan memperhatikan kelengkungan bumi.

GIS adalah *Geographical Information System*. Suatu sistem informasi yang mampu mengaitkan database grafis dengan data base tekstualnya yang sesuai.

GPS yaitu (*Global Positioning System*) Metode pengukuran posisi dengan bantuan satelit yang bekerja secara global (dititik manapun di bumi) sehari-hari GPS sering diartikan sebagai receiver (peralatan GPS).

Informasi adalah Sesuatu yang memiliki makna atau manfaat.

Jaring Kontrol yaitu serangkaian BM yang disebar di permukaan bumi untuk keperluan pembuatan peta atau penelitian suatu geodinamika bumi atau untuk pengikatan kontrol suatu kontruksi.

Kontrol yaitu Upaya mengendalikan data hasil pengukuran di lapangan agar memenuhi syarat geometrik tertentu sehingga kesalahan hasil pengukuran di lapangan dapat memenuhi syarat yang ditetapkan dan kesalahan-kesalahan acaknya telah dikoreksi.

Konversi yaitu Proses mengubah suatu besaran (sudut/jarak) dari suatu sistem menjadi sistem yang lain.

Koordinat yaitu Posisi titik yang dihitung dari posisi nol sumbu X dan posisi nol sumbu Y.

Proyeksi peta yaitu Proses memindahkan informasi geometrik dari bidang lengkung (bola/ellipsoidal) ke bidang datar melalui bidang perantara (bidang datar, kerucut, silinder).

Skala yaitu Nilai perbandingan besaran jarak atau luas di atas kertas terhadap jarak dan luas di lapangan.

Tanah yaitu lapisan bumi paling luar yang sering digunakan oleh manusia untuk berbagai keperluan

Tinggi suatu titik adalah jarak tegak diatas atau dibawah bidang datum.

Topografi yaitu Peta yang menyajikan informasi di atas permukaan bumi baik unsur alam maupun unsur buatan manusia dengan skala sedang dan kecil.

UTM yaitu Universal Transverse Mercator. Sistem proyeksi peta global yang memiliki lebar zona 6° sehingga jumlah zona UTM seluruh dunia adalah 60 zona. Bidang perantara yang digunakan adalah silinder dengan posisi transversal (sumbu putar bumi tegak lurus terhadap garis normal silinder), informasi geometrik yang dipertahankan sama adalah sudut (konform) dan secant.

WGS-84 yaitu *World Geodetic System* tahun 1984, adalah ellipsoid terbaik yang memiliki penyimpangan terkecil terhadap geoid (lihat istilah geoid).

Zone yaitu Kurva yang dibatasi oleh batas-batas dengan kriteria tertentu.

INDEKS

Indeks Pengarang

Abidin 5, 6, 7, 9, 10, 15, 18, 19, 22, 30, 37

Aditiya 12

Apriyanti 23, 24

Baarda 9

Bayrak 9

Bock 10

Cai 6

Caspary 25

Chen 21

Chzranowski 23

Djadja 28

Duong 10

El-Rabbany 5

Fajriyanto 24, 25

Hanifa 21, 23

Hu 17

Kious 13

Klobuchar 14

Kuang 21, 23

Leick 6

Lestari 22

Marwanta 27

Panuntun 6

Prasedya 6

Prihandito 13

Rizos 14, 16

Sulasdi 23

Sunantyo 22

Tape 11

Ulinnuha 24, 27

Vanicek 41

Whittaker 12

Widjajanti, 18, 22, 25, 26

Yulaikhah 22

Indeks Subyek

Alat 18, 32, 33

Area 13, 28, 29, 30, 31

Banjarnegara 28, 29, 30, 33, 36

Baseline, 11, 12, 15, 16, 17, 19, 20, 36, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 50, 51

***cycle slips* 38, 39**

Dimensi 5, 6, 9, 13, 16, 20, 22, 41, 78

Geogenius 26, 37, 41, 42, 43, 45, 51, 54

GPS 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11

GNSS 6, 7, 9, 10, 11

Jaring 11, 12, 25, 40, 41, 51, 52, 53

Koordinat 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 30, 31, 33, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 51, 54, 56, 57, 58, 59

Lempeng 7, 10, 12, 13, 22, 24

Longsor 27, 28

Pengamatan 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 31, 36, 37, 38, 41, 42

Pengukuran 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 23, 25, 27, 31, 32, 33, 36, 40, 42, 44, 59, 67, 73

Posisi 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 30, 38

Receiver 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 30, 31, 32, 33, 37, 38,

Survei 7, 19, 22, 31, 32, 37, 38

Tanah 5, 9, 21, 25, 27, 28, 29, 33, 59, 61, 63, 65, 66, 74

Vektor 20, 23, 26, 38, 39, 40, 41

Redaksi

**Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jalan Padjajaran No.104, Lingkar Utara Condong Catur Yogyakarta
Gedung Arie F. Lasut, Lantai 1
Telp : 0274 487814
Email : ftm@upnyk.ac.id**

ISBN 978-602-19765-6-2

