

# Pemantauan Pergerakan Tanah Menggunakan GPS Geodetik

Ir. Sugeng Raharjo, M.T., dkk.



Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

# **PEMANTAUAN GERAKAN TANAH MENGGUNAKAN GPS GEODETIK**

## **Penulis**

Sugeng Raharjo  
Eko Teguh Paripurno  
Djoko Hartadi  
Oktavia Dewi Alfiani  
Dessy Apriyanti

**ISBN : 9 786025 534126**

## **Editor**

Noor Akhila Luckyta Hartadi

## **Penyuting**

C. Prasetyadi

## **Disain sampul dan tata letak**

Taufiq Ihsanudi

## **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 I  
Telp: 0274487814  
Email : [ftm@upnyk.ac.id](mailto:ftm@upnyk.ac.id)  
Cetakan pertama : November 2017

Hak cipta dilindungi undang – undang

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

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan barokahnya sehingga kami tim penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul : PEMANTAUAN GERAKAN 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 tanah dengan GPS.

Buku ini kami susun terutama sekali untuk kalangan mahasiswa dan masyarakat umum yang tertarik dengan gerakan tanah .

Buku ini tidak hanya mencakup teori saja namun lebih ke aplikasi dan tahapan untuk memproses data dengan *software* ,serta dilengkapi urutan urutan perhitungannya.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kemristek-Dikti yang telah memberi bantuan berupa hibah PUPT serta LPPM Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang memberi semangat sehingga kami bisa menyelesaikan buku ini.

Tim Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
PENGERTIAN GPS .....	1
RUMUS-RUMUS.....	16
PELAKSANAAN PENGUKURAN .....	22
TAHAPAN PELAKSANAAN SURVEI GPS .....	23
CARA PENGOPERASIAN GPS GEODETIK .....	24
<u>1.</u> Pemasangan.....	24
2. Pengukuran .....	24
TAHAPAN PELAKSANAAN PENGOLAHAN DATA GPS MENGGUNAKAN SOFTWARE GEOGENIUS. ....	33
DAFTAR PUSTAKA .....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tiga segmen teknologi GPS (El-Rabbany, 2002) .....	1
Gambar 2. Sistem penentuan posisi GPS (Abidin, 1995) .....	2
Gambar 3. Berbagai merk GPS Geodetik.....	4
Gambar 4. komponen-komponen yang ada pada GPS Geodetik merk JAVAD (www.javad.com).....	4
Gambar 5. Persebaran IGS (NASA, 2015).....	6
Gambar 6. Penentuan posisi relatif pengamatan GPS (Widjajanti, 2010).....	13
Gambar 7. Penentuan posisi titik-titik dengan metode survei GPS (Abidin, 2010) .....	14
Gambar 8. Diagram alir perhitungan koordinat titik-titik jaringan GPS.....	15
Gambar 9. Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS [Langley, 1998] .....	16
Gambar 10. Tahapan umum pelaksanaan suatu survei GPS.....	23
Gambar 11. Dokumentasi kegiatan pengukuran dengan menggunakan GPS Geodetik merk TopCon di Clapar Banjarnegara .....	27
Gambar 12. Strategi-strategi pengontrolan kualitas pengamatan (Abidin, 2007) .....	28
Gambar 13. Pengolahan data <i>baseline</i> GNSS (SNI JKH, 2002) .....	29
Gambar 14. Tahapan perhitungan suatu <i>baseline</i> GNSS (SNI JKH, 2002) .....	30
Gambar 15. Perataan jaring GNSS (SNI JKH, 2002) .....	32
Gambar 16. Pendefinisian Sistem Koordinat UTM, Zone 49 S dan Datum WGS 1984 .....	33
Gambar 17. <i>Input</i> data dari hasil pengukuran GPS metode relatif .....	33
Gambar 18. Hasil <i>input</i> data ke jendela Geogenius, dengan stasiun <i>fixed</i> di titik _n005_sesi1 .....	34
Gambar 19. Perubahan nama ( <i>rename</i> ) titik dengan nama BM08 .....	34
Gambar 20. Proses awal untuk <i>scan</i> data.....	34
Gambar 21. Proses <i>scan</i> data, pemotongan data pengukuran yang jelek.....	35
Gambar 22. Proses <i>scan</i> data untuk <i>baseline</i> yang lainnya.....	36
Gambar 23. Proses awal pengolahan <i>baseline</i> , <i>Process</i> .....	36
Gambar 24. Hasil pengolahan <i>baseline</i> dengan informasi elips kesalahan <i>baseline</i> pada pojok kanan bawah jendela Geogenius .....	37
Gambar 25. Proses awal untuk menampilkan <i>report</i> , .....	37
Gambar 26. <i>Report</i> dan informasi yang terdapat pada hasil pengolahan <i>baseline</i> _n005_sesi1 ke BM08.....	42

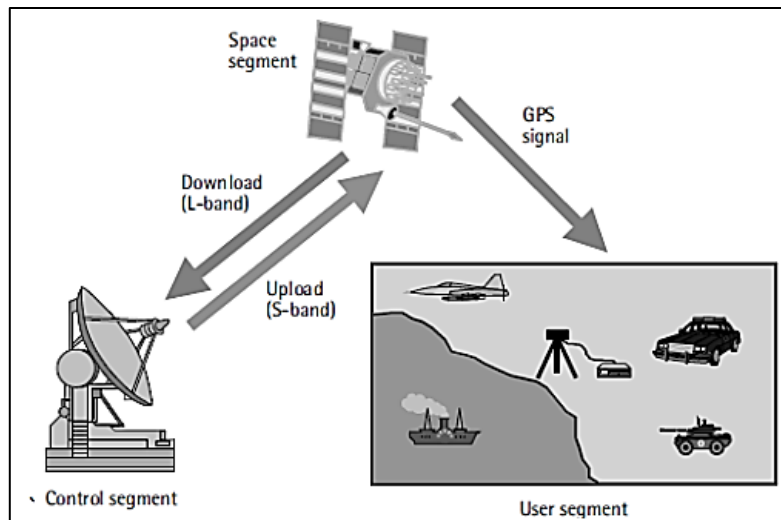
Gambar 27. Hasil pengolahan <i>baseline</i> per <i>baseline</i> untuk seluruh <i>baseline</i> yang di observasi.....	42
Gambar 28. Pendefinisian koordinat titik <i>fixed</i> .....	43
Gambar 29. Hasil perataan jaring dengan <i>adjustment</i> .....	43
Gambar 30. <i>File report</i> hasil perataan jaring.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter elipsoid WGS 1984 (Abidin, 2002) .....	9
Tabel 2. Faktor dan parameter yang mempengaruhi ketelitian penentuan posisi.....	10

## 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)

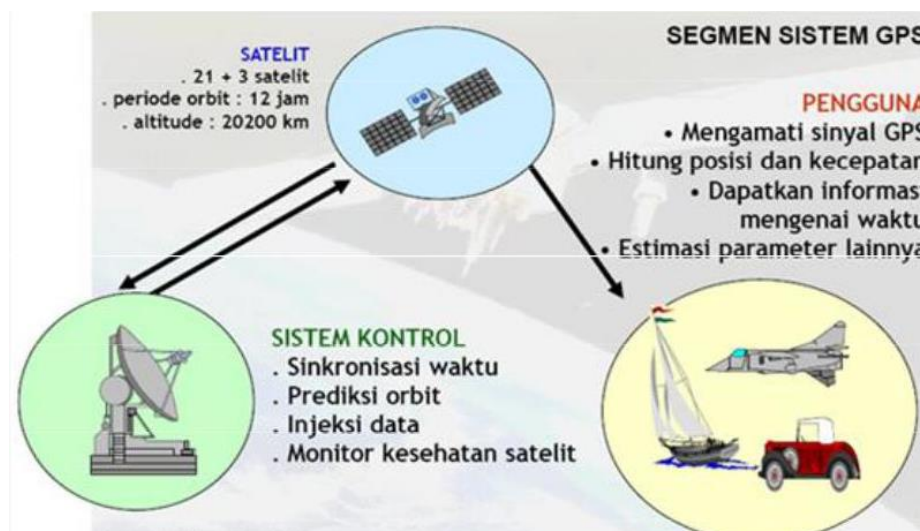
Gambar 1 menunjukkan tiga segmen yang ada dalam teknologi GPS. Segmen satelit terdiri atas satelit-satelit GPS yang beredar pada orbitnya masing-masing. Orbit satelit GPS memiliki inklinasi  $55^\circ$  dengan ketinggian rata-rata adalah 20.200 km. Satu lintasan orbit satelit terdapat empat satelit GPS. 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 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.

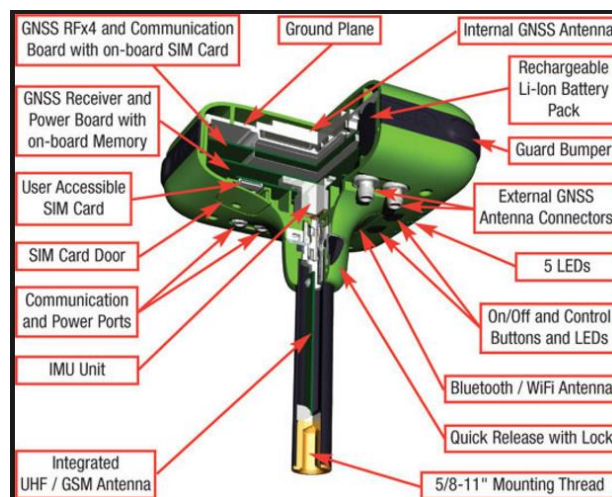
Ada banyak jenis dan model receiver GPS yang dijual dengan bentuk, ukuran, kualitas, dan harga yang berbeda-beda. Mereka bekerja menurut beberapa prinsip-prinsip yang sama. Ada dua katagori utama receiver GPS : differential (kualitas-survei) dan non-differential (kualitas-navigasi). Perbedaan utama di 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 antena 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](http://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.

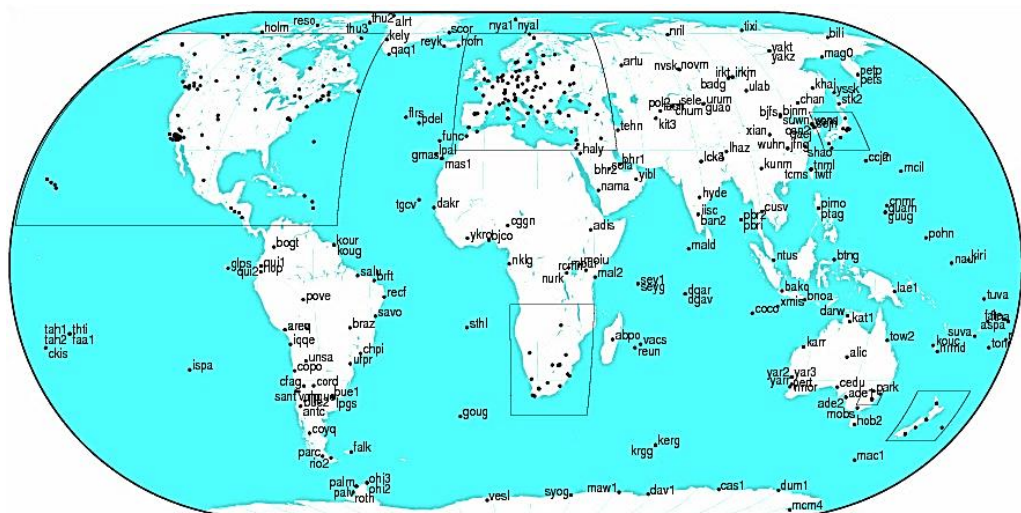
Teknologi GNSS ini telah berkembang dan banyak diterapkan pada penentuan posisi teliti titik-titik dalam jaringan dari waktu ke waktu. Hal ini bermanfaat pada pemantauan pergerakan suatu objek. GNSS telah diaplikasikan untuk pengamatan dinamika bumi (geodinamika) seperti pergerakan sesar, lempeng tektonik, 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://igs.cb.jpl.nasa.gov> yang dapat diunduh secara gratis. Dengan menggunakan produk IGS yang tepat dengan menggabungkan data GPS fase pembawanya dan data pengamatan stasiun IGS yang paling dekat, penggunaan dalam pengukuran geodetik dapat mencapai posisi relatif yang tepat sesuai dengan ITRF global saat ini (Tape dkk, 2009).

IGS merupakan badan multi nasional yang menyediakan data GPS, informasi *ephemeris* satelit GPS, serta informasi pendukung keperluan geodetik lainnya. Saat ini, IGS memiliki stasiun pengamat yang berjumlah sekitar 200 stasiun yang tersebar di permukaan bumi. Persebaran stasiun IGS ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Persebaran IGS (NASA, 2015)

Gambar 5 menunjukkan persebaran IGS di permukaan bumi. Data pengamatan IGS biasanya digunakan sebagai titik ikat dalam pengolahan data pengamatan menggunakan teknologi GPS. Data pengamatan IGS dapat diunduh secara gratis di situs <http://sopac.ucsd.edu>.

International Terrestrial Reference Frame (ITRF) merupakan suatu kerangka koordinat global yang merupakan realisasi dari ITRS. ITRF direpresentasikan dalam suatu koordinat dan kecepatan yang didapatkan dari sejumlah titik yang tersebar yang berada di seluruh permukaan bumi. Stasiun ITRF tersebut diamati dengan menggunakan metode-metode GPS, *Lunar Laser Ranging* (LLR), *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI), *Solar Laser Ranging* (SLR), dan DORIS. Jaring koordinat ITRF dipublikasikan oleh 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 kontinyu 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](http://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](http://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	$\Omega$	$7292115,0 \times 10^{-11}$ rad/dt
Konstanta gravitasi Bumi	GM	$3986004,418 \times 10^8$ m <sup>3</sup> /dt <sup>2</sup>

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

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 ( $\phi, \lambda, h$ ), 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*.

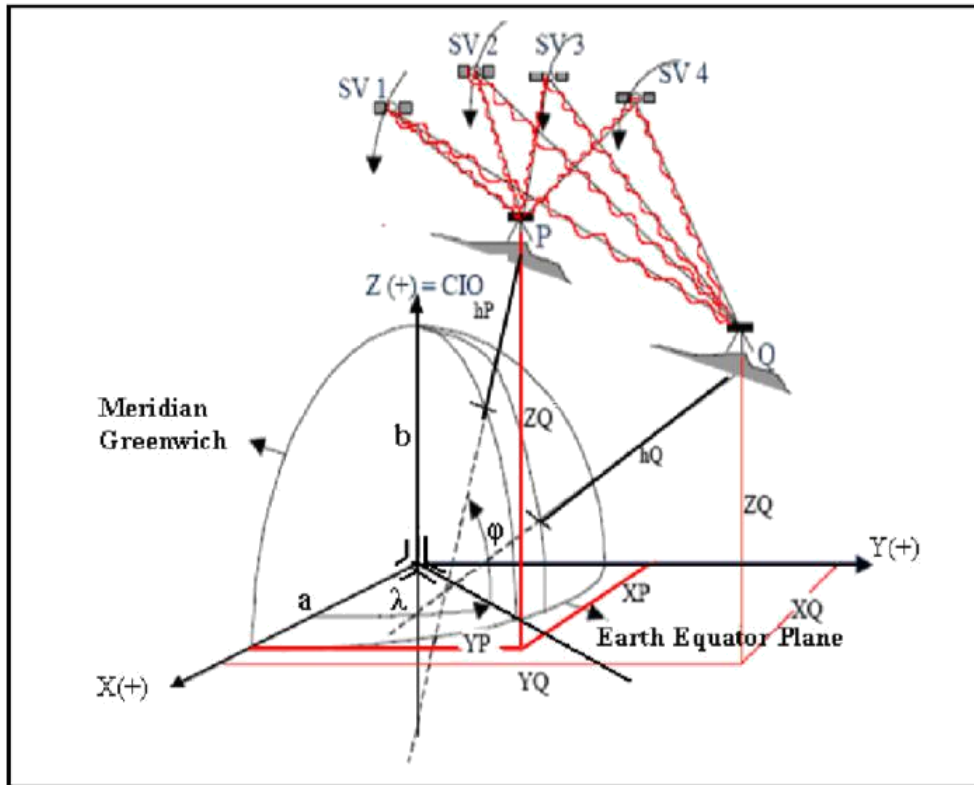
Penentuan posisi dengan teknologi GPS dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode absolut dan metode relatif. Metode absolut atau *point positioning* merupakan penentuan posisi suatu titik yang dapat ditentukan dengan menggunakan sebuah *receiver* GPS. Karakteristik dari metode absolut adalah pengukuran 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)

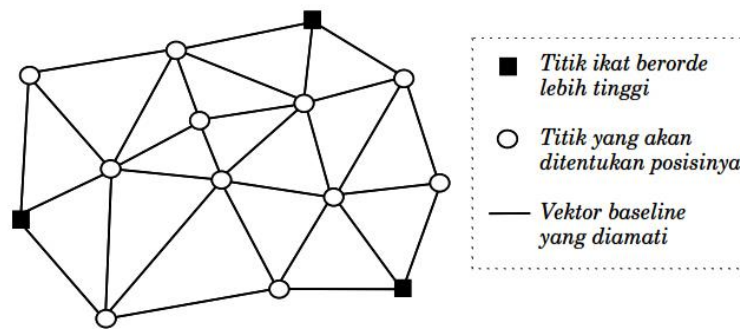
Keterangan Gambar 6 :

- (SV)*i* : *satellite vehicle*
- Q dan P : posisi *receiver* di permukaan bumi
- ( $\phi, \lambda$ ) : 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 pandangannya. 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

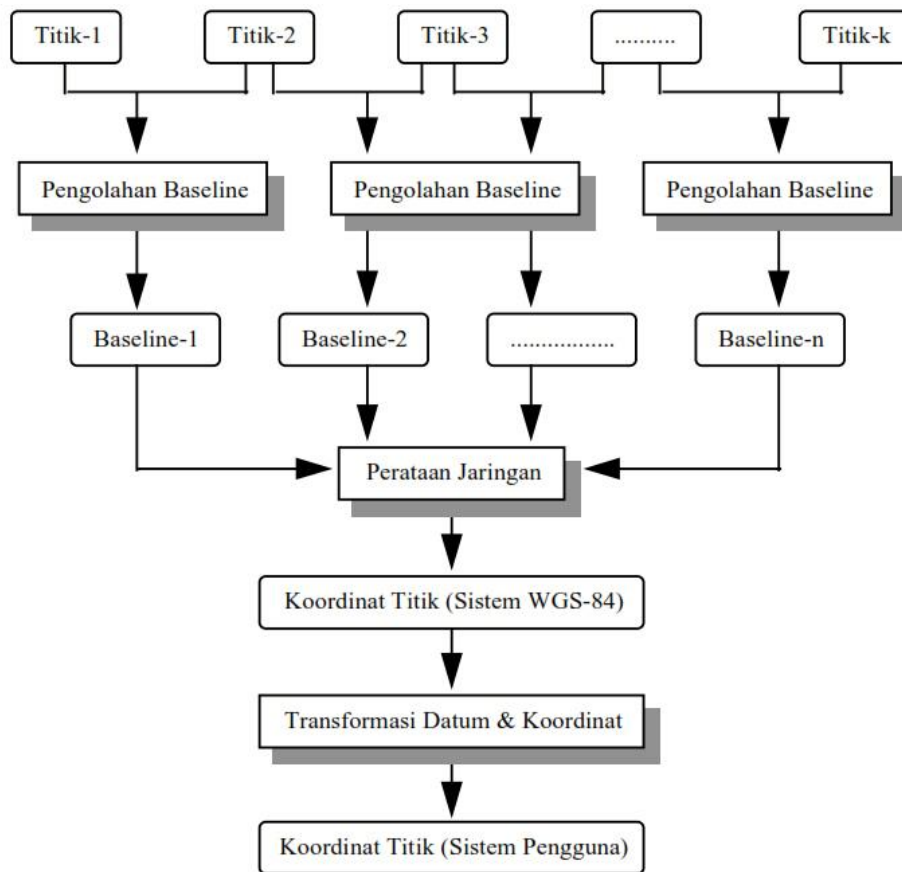
kapal sinyal tersebut meninggalkan satelit. Receiver GPS membaca kode dan menghitung perbedaan antara waktu keberangkatan dan kedatangannya.

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)

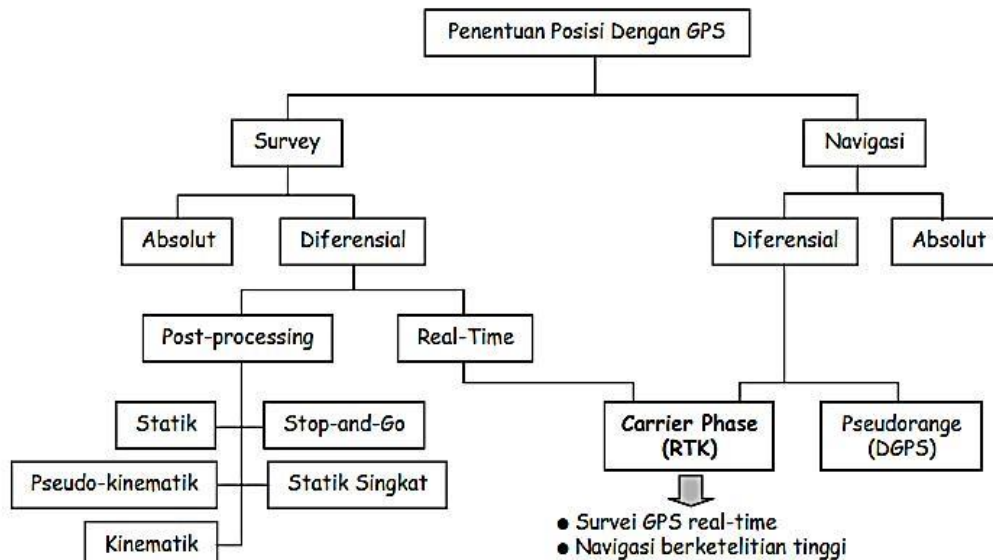
Patut dicatat di sini bahwa seandainya lebih dari dua receiver GPS yang digunakan, maka pada satu sesi pengamatan (*observing session*) dapat diamati lebih dari satu baseline sekaligus. Secara skematik proses perhitungan koordinat titik-titik dalam jaringan GPS dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 8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

$$\sigma_{d_{total}^2} = \left(\frac{\partial d}{\partial d_X}\right)^2 \sigma_{d_X^2} + \left(\frac{\partial d}{\partial d_Y}\right)^2 \sigma_{d_Y^2} + \left(\frac{\partial d}{\partial d_h}\right)^2 \sigma_{d_h^2} \quad 8$$

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 (Ho) 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  $\alpha$

$x_i$  : parameter kala pertama

$x_{ii}$  : parameter kala kedua

$\sigma_{xi}^2$  : simpangan baku parameter kala pertama

$\sigma_{xii}^2$  : simpangan baku parameter kala kedua

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

$$dV = (Z^{(j)} - Z^{(i)}) \tag{11}$$

$$\alpha = \arctan \frac{x^{(j)} - x^{(i)}}{y^{(j)} - y^{(i)}} \tag{12}$$

Dalam hal ini,

$i$  : kala satu fase gempa tektonik

$j$  : kala dua fase gempa tektonik

$dH$  : resultan pergerakan horisontal

$dV$  : pergerakan vertikal

$\alpha$  : arah pergerakan horisontal

## **PELAKSANAAN PENGUKURAN**

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**).

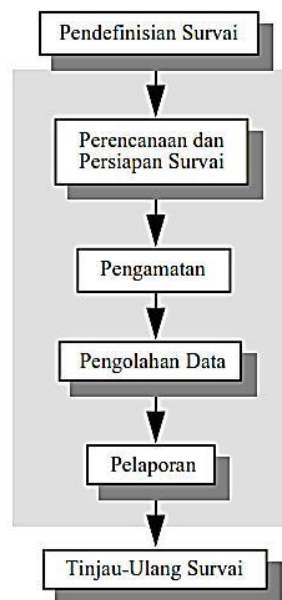
Pertama fungsikan GPS receiver pada area pengamatan, kemudian bawa receiver tersebut ke tempat yang ingin diketahui koordinatnya. Tempatkan receiver tersebut di area yang bersih tanpa gangguan di atasnya. Hidupkan receiver dan tunggu hingga koordinat, atau waypoint sebagaimana biasanya dapat disebut, 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 10 berikut.



**Gambar 10.** 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.

## **CARA PENGOPERASIAN GPS GEODETIK**

Cara pengoperasian GPS geodetik terbagi menjadi dua kegiatan, yang terdiri dari :

### **1. Pemasangan**

1. Pastikan alat yang akan digunakan lengkap. Kelengkapan unit meliputi :
  - a. Untuk Base Station : Antena Receiver GPS , Controller , Kabel antena-receiver
  - b. Untuk Rover : Antena Receiver GPS, Controller, Tripod, Tribach, Kabel Controlle- Antena Receiver, GPS Garmin.
2. Cari lokasi titik pengukuran dengan menggunakan GPS Garmin . Apabila ditemukan lokasi yang tidak memungkinkan (misalnya didalam rumah orang, di sungai atau ditengah jalan raya) saat survei maka bisa menggeser lokasi pengukuran dengan mencatat selisih jarak antara data grid asli dengan jarak sesungguhnya sebagai koreksi data.
3. Pasang tripod pada permukaan datar lalu levelling
4. Pasang Tribach dengan antena GPS . Lalu kunci.
5. Pasang Controller dibawah receiver GPS dengan menggunakan pengunci Controller agar terlindung dr sinar matahari.
6. Pasang kabel penghubung recon dengan receiver GPS. Pastikan level water tidak berubah
7. Ukur ketinggian dari dasar tanah ke antena Receiver GPS lalu catat

### **2. Pengukuran**

1. Nyalakan Receiver GPS dengan menekan tombol power pada Recon
2. Atur waktu pada home
3. Jalankan program Field Surveyor
4. Untuk mengatur satuan pilih device ->menu->setting->unit
5. Untuk mengatur koordinat pilih setting coordinat system
6. Untuk memulai pengukuran statik maka pilih pada static menu maka akan muncul tampilan menu static
7. Isi data , meliputi :
  - a. point : file name pengukuran
  - b. code : kode pengukuran
  - c. height : ketinggian dasar tanah dengan receiver GPS
8. Ganti default name pada kolom file.

9. Pastikan satelit telah mencukupi (minimal 4) untuk proses pengambilan data. Untuk mencari info Satelit GNSS klik tombol info. Ketinggian gedung akan mempengaruhi penerimaan satelit GNSS.
10. Klik MSR untuk memulai perekaman data. Kecepatan mendownload data dipengaruhi oleh satelit.
11. Karena kita menggunakan metode statik dengan 3 receiver pastikan ketiga receiver menekan tombol MSR secara bersama-sama
12. Setelah selesai klik tombol REC secara bersama-sama dr ketiga receiver. Maka data secara otomatis akan tersimpan.
13. Apabila telah selesai matikan Receiver GPS dengan cara klik tombol off.
14. Pastikan alat dalam keadaan rapi

Pada Gambar 11 berikut disajikan dokumentasi kegiatan pengukuran menggunakan Receiver GPS Geodetik yang telah dilakukan di Clapar Banjarnegara untuk mengetahui besar dan arah pergerakan tanah yang terjadi di Clapar Banjarnegara.







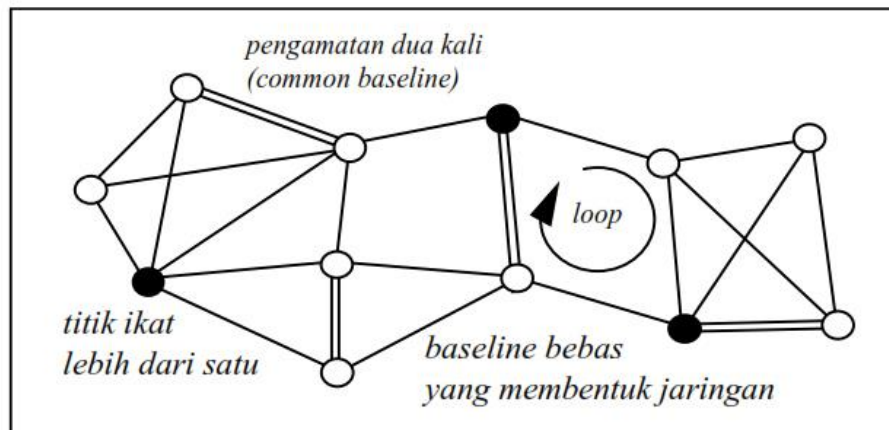
**Gambar 11.** Dokumentasi kegiatan pengukuran dengan menggunakan GPS Geodetik merk TopCon di Clapar Banjarnegara, pada titik pengukuran P6, P7, dan P8.

## 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 12 berikut:



**Gambar 12.** Strategi-strategi pengontrolan kualitas pengamatan (Abidin, 2007)

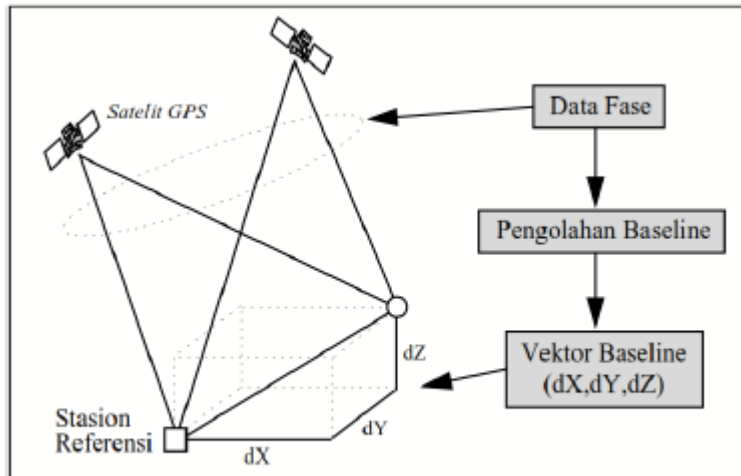
Pemrosesan awal (*Pre-Processing*) data pengamatan GNSS. Pemrosesan data pengamatan GNSS dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak. Untuk survei pemetaan digunakan perangkat lunak komersial seperti *SKI*, dan *Geogenius*. Sedangkan untuk keperluan yang menuntut ketelitian yang lebih tinggi seperti 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.

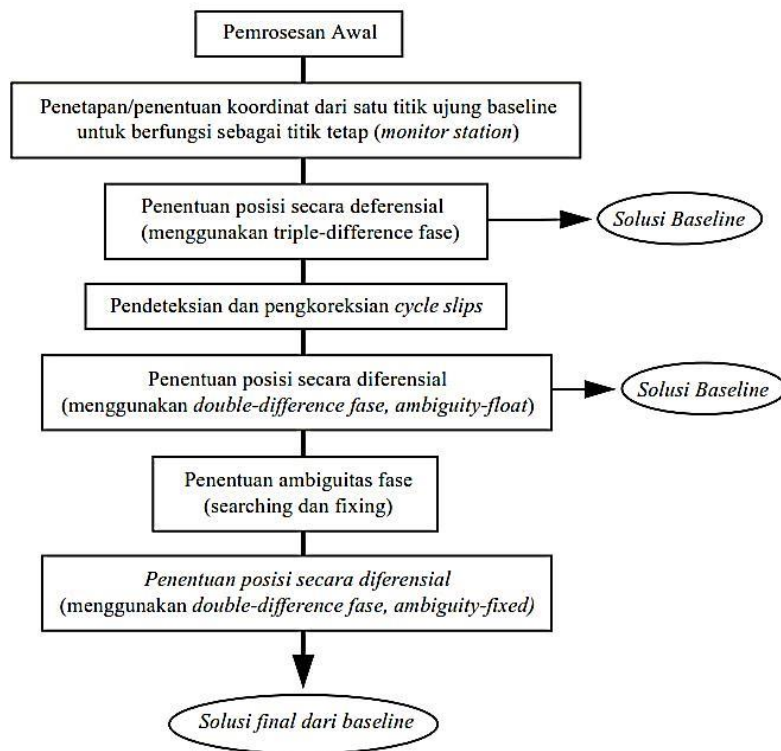
## 2. Pengolahan Baseline.

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 13.



**Gambar 13.** 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 pengestimasian 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 14.



**Gambar 14.** 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.

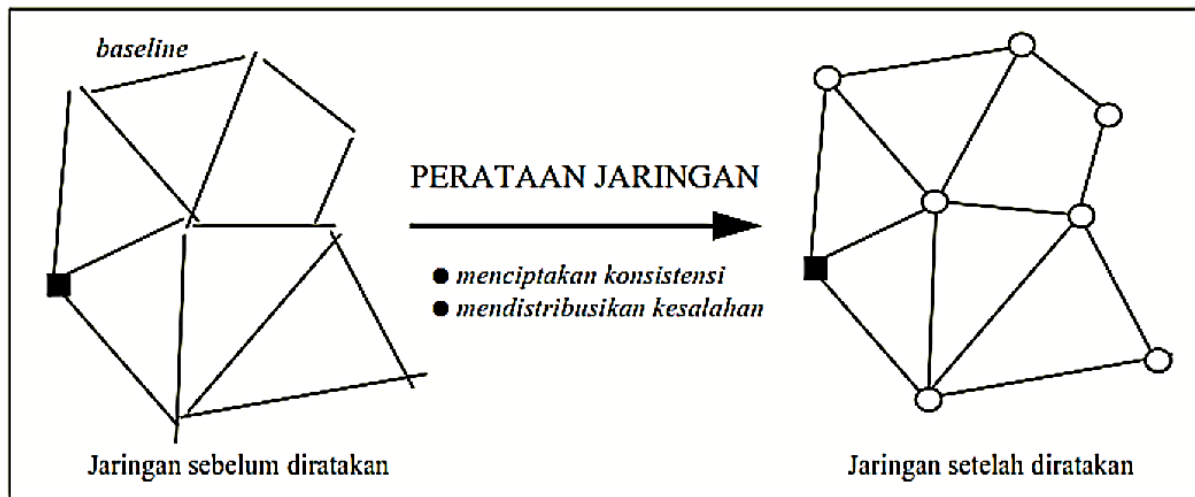
Pada perataan jaringan, vektor-vektor *baseline* yang telah dihitung sebelumnya secara sendiri-sendiri, dikumpulkan dan diproses dalam suatu hitung perataan jaringan (network adjustment) untuk menghitung koordinat final dari titik-titik dalam jaringan GNSS yang bersangkutan. Hitung perataan jaringan 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 15. Pada Gambar 15 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 15.** Perataan jaring GNSS (SNI JKH, 2002)

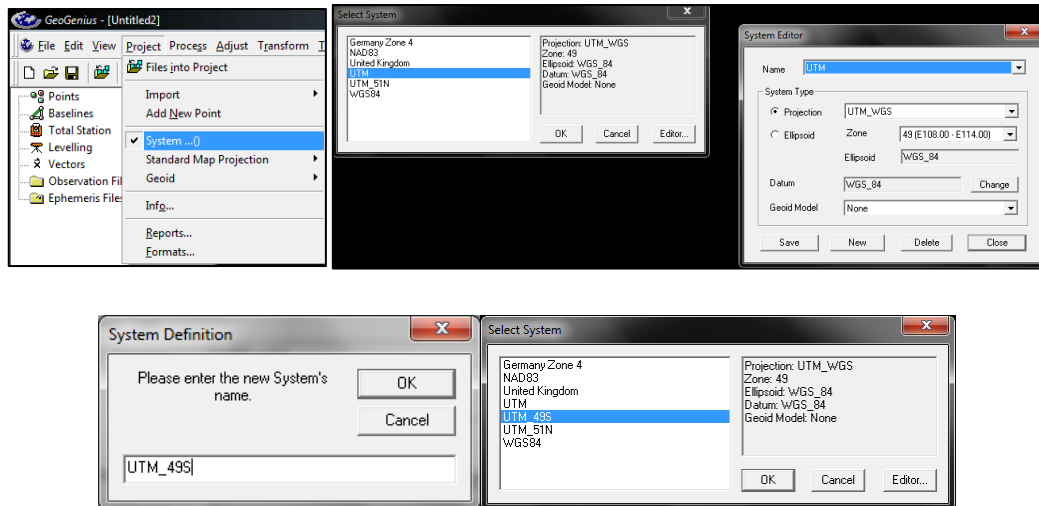
Untuk mengecek kualitas dari koordinat yang diperoleh dari hitung perataan jaring, ada beberapa indikator kualitas yang dapat dipantau, yaitu antara lain :

- 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, seperti pada tahapan di bawah ini :

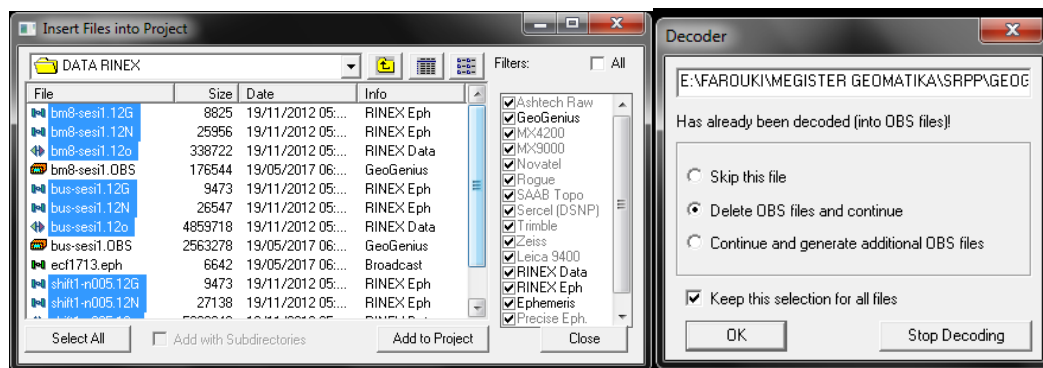
## Tahapan Pelaksanaan Pengolahan Data GPS Menggunakan Software Geogenius.

1. Membuka perangkat lunak (*software*) Geogenius.
2. Melakukan pendefinisian Sistem Koordinat (berserta dengan Zone-nya) dan Datumnya. Melalui menu *Project* → *System* → *Editor* → Melakukan pengaturan sesuai dengan sistem koordinat dan datum yang digunakan.



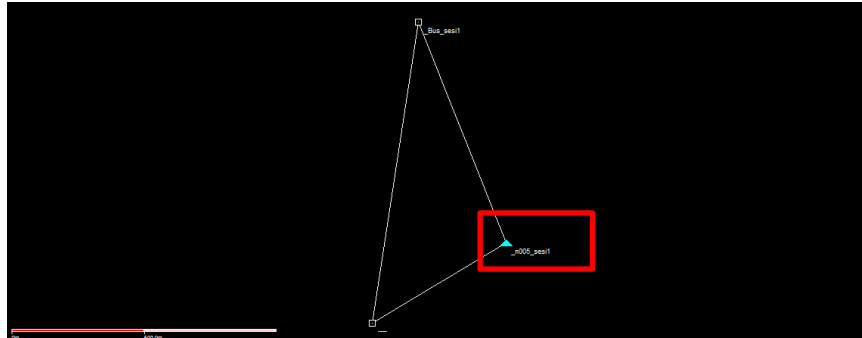
**Gambar 16.** Pendefinisian Sistem Koordinat UTM, Zone 49 S dan Datum WGS 1984

3. Melakukan *input* data pengamatan/pengukuran GPS metode relatif dengan cara memilih *tools insert files* , dan memilih *file-file* yang akan diolah → *Add to Project*. *File-file* ini berupa *file* \*.YYo , \*.YYn, dan \*.YYg dari 3 stasiun yang telah diamati.



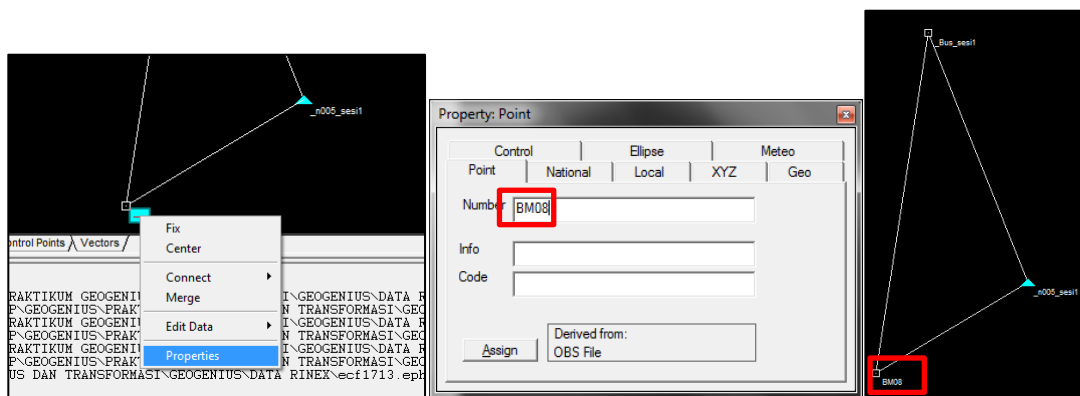
**Gambar 17.** *Input* data dari hasil pengukuran GPS metode relatif





**Gambar 18.** Hasil *input* data ke jendela Geogenius, dengan stasiun *fixed* di titik *\_n005\_sesi1*

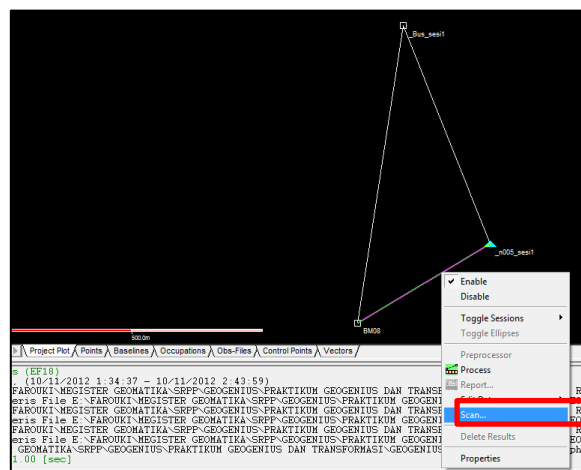
4. Apabila nama stasiun belum sesuai, maka nama stasiun dapat di-*rename* dengan melakukan klik kanan stasiun → *Properties*.



**Gambar 19.** Perubahan nama (*rename*) titik dengan nama BM08

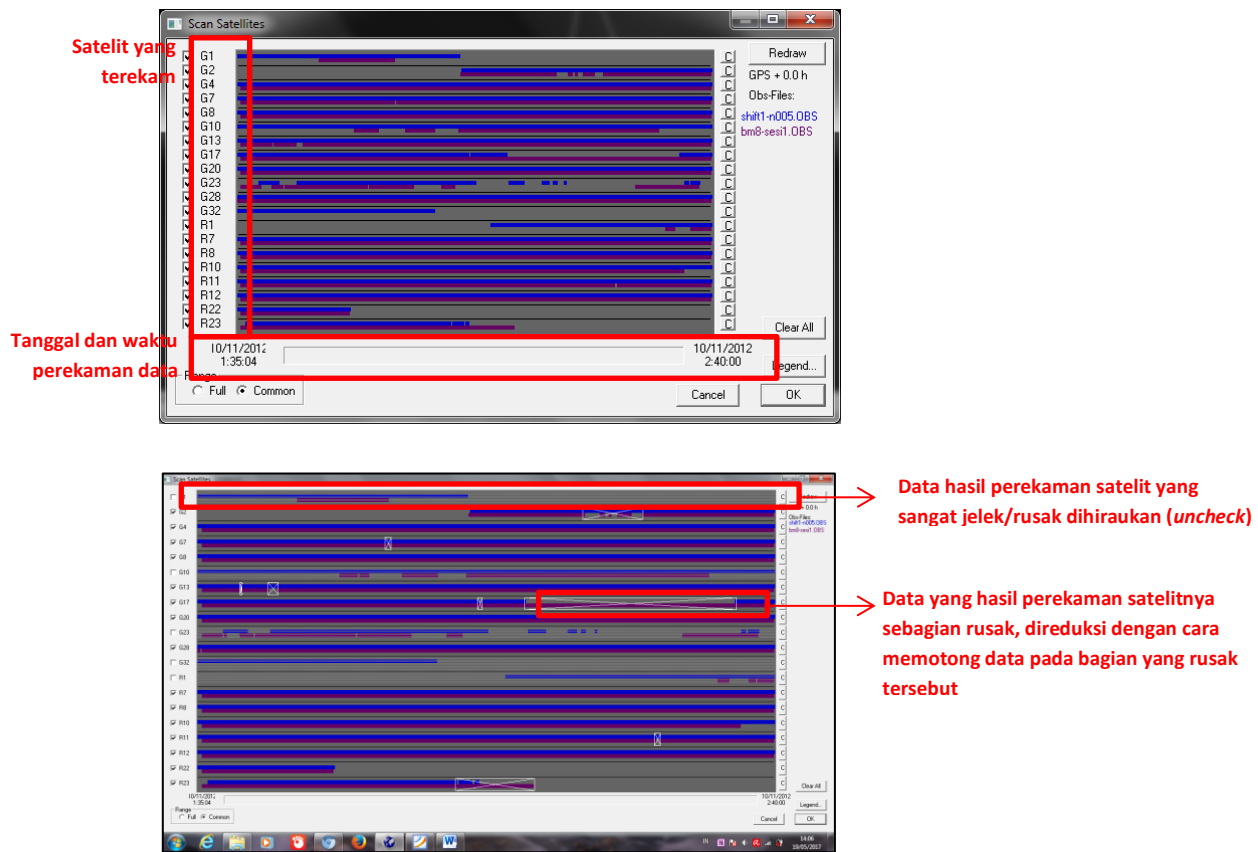
5. Melakukan *Scan* Data.

*Scan* data bertujuan untuk memilih dan mereduksi data-data yang jelek. Caranya adalah dengan melakukan klik kanan pada *baseline* → *Scan*



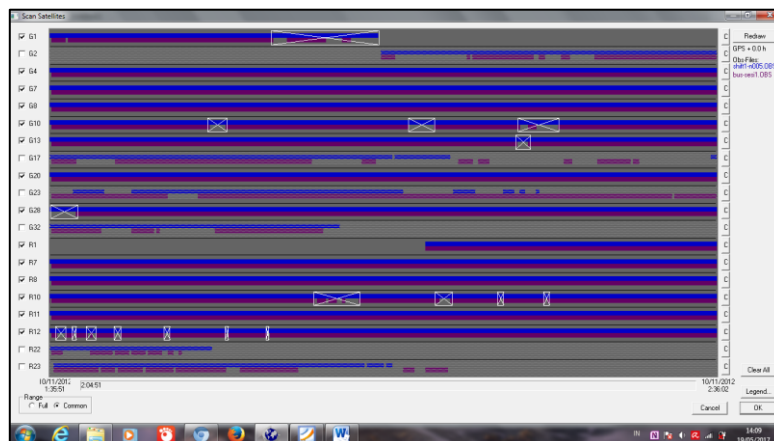
**Gambar 20.** Proses awal untuk *scan* data

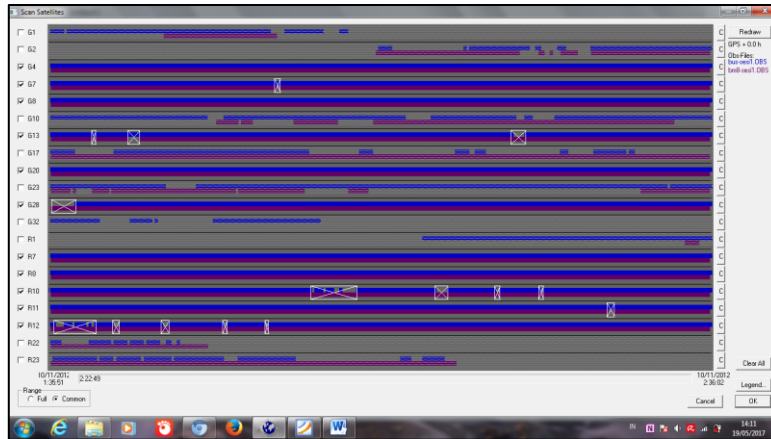
- Melakukan pemotongan data seperti gambar dibawah ini dengan cara memotong (meng-blok) data yang jelek → OK.



**Gambar 21.** Proses *scan* data, pemotongan data pengukuran yang jelek

- Melakukan hal yang sama untuk 2 *baseline* lainnya.

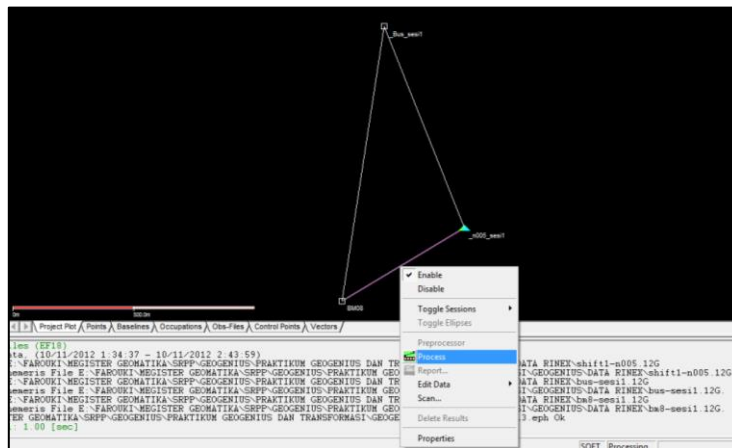




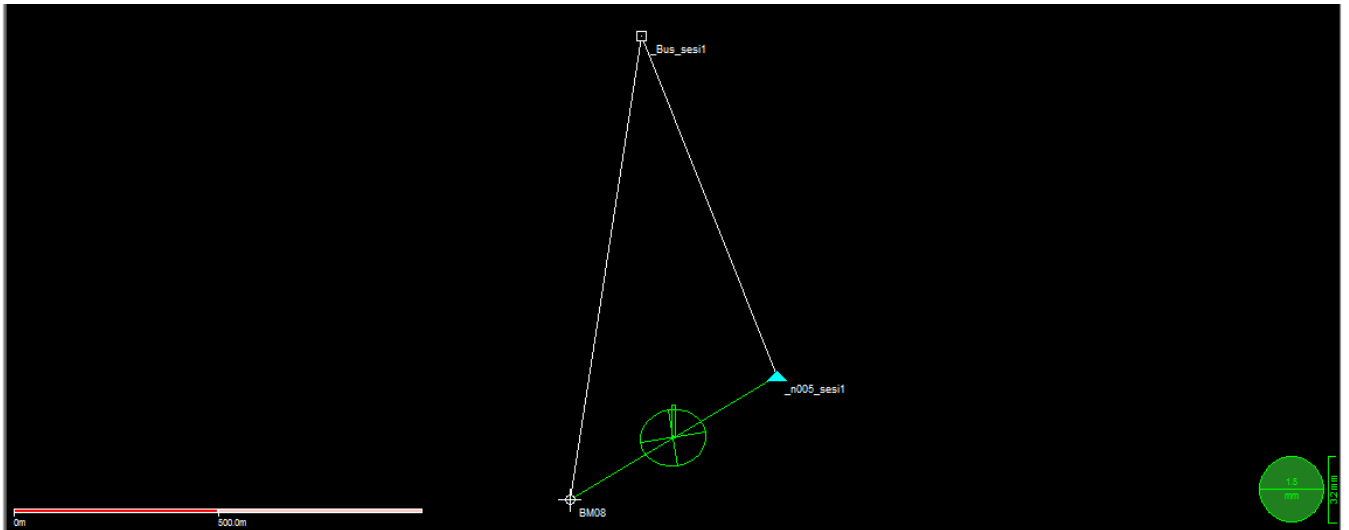
**Gambar 22.** Proses *scan* data untuk *baseline* yang lainnya

## 8. Melakukan Pengolahan *Baseline*.

Pengolahan *baseline* dilakukan dengan meng-klik kanan pada *baseline* yang dekat dengan stasiun *Fixed* → *Process*..

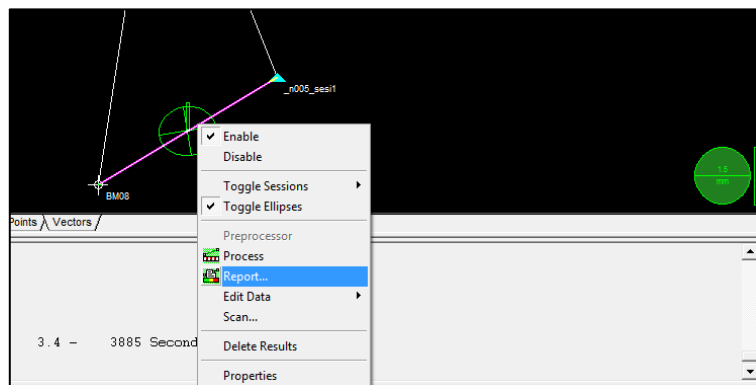


**Gambar 23.** Proses awal pengolahan *baseline*, *Process*



**Gambar 24.** Hasil pengolahan *baseline* dengan informasi elips kesalahan *baseline* pada pojok kanan bawah jendela Geogenius

9. Melihat *file report*-nya dengan melakukan klik kanan pada *baseline* yang telah diolah → *Report*.



**Gambar 25.** Proses awal untuk menampilkan *report*,

10. Berikut adalah hasil *report* dan informasi yang terdapat di dalamnya:

**SPECTRA PRECISION TERRASAT Static Processing**

www.terrasat.de GeoGenius 2.00 - - Date : 19-MAY-17 Time : 14:11:57

**Baseline:** \_n005\_sesi1 to BM08 **Informasi Titik Base Station**

**1. Reference**

File, Point Code	shift1-n005_OBS	_n005_sesi1	
Receiver, Version, S/N	JPS TRIUMPH1	3.2.6 Feb 13	W00UI3GZ5C6X43W404U1
Antenna type, S/N	-Unknown-	-Unknown-	
Geocentric Position [m]	-2200600.6690	5024577.0639	-857024.0770
Instr. height ecc. (W.E.H) [m]	0.0000	0.0000	1.2235
Week, Day, Date	1713	315	10-NOV-2012
Start, End, Interval	524077.46	528239.00	1.00
Code indicators	C/A	P1	P2
Carrier indicators	P1	Y4-Y2	

Annotations in the image point to the following fields:

- Kode titik (points to BM08)
- Jenis receiver, versi dan serial number-nya (points to JPS TRIUMPH1 3.2.6 Feb 13 W00UI3GZ5C6X43W404U1)
- Tipe antenna (points to -Unknown-)
- Posisi geosentrik (points to Geocentric Position [m])
- Tinggi instrument (points to Instr. height ecc. (W.E.H) [m])
- Waktu akuisisi data (points to Week, Day, Date)
- Awal, akhir observasi dan interval (points to Start, End, Interval)
- Code (points to Code indicators)

**Phase Center Offsets:**

Description	Value	Unit
Correction Factor (a)	27.0	[mm]
Horizontal Offset (b)	112.0	[mm]
Phase Center Offset L1 (c1)	0.0	[mm]
Phase Center Offset L2 (c2)	0.0	[mm]

Faktor koreksi (a), Horizontal offset (b) dan penyimpangan terhadap phase center L1 dan L2

Informasi Receiver Base Station

**3. SVs tracked**

System	SVID	Observations
GPS	1	1845
GPS	2	2295
GPS	4	4155
GPS	7	4155
GPS	8	4155
GPS	10	4158
GPS	13	4155
GPS	17	2730
GPS	20	4155
GPS	23	1965
GPS	28	4155
GPS	32	1635
GLN	1	2055
GLN	7	4155
GLN	8	4155
GLN	10	4155
GLN	11	4155
GLN	12	4155
GLN	22	945
GLN	23	1800

Satelit, ID/nomor satelit yang teramat pada sistem GPS

Satelit, ID/nomor satelit yang teramat pada sistem Glonass

Kode titik

Jenis receiver, versi dan serial number nya

Tipe antena

Informasi Satelit Base Station

**4. Rover**

File, Point, Code	bm8-sesi1.OBS	BM08
Receiver, Version, S/N	JPS TRIUMPH1	3.2.6 Feb 3VMW/4RMZZEHLZP
Antenna type, S/N	-Unknown-	-Unknown-
Geocentric Position [m]	-2200108.8517	5924711.1976
Instr. height ecc. (N,E,H) [m]	0.0000	0.0000
Week, Day, Date	1713	315
Start, End, Interv	524103.93	528000.00
Code indicators	C/A	P4
Carrier indicators	P1	Y1-Y2

Posisi geosentrik

Pinggir instrument

Waktu akuisisi data

Awal, akhir observasi dan interval

Code

Informasi Titik dan Receiver Stasiun Rover

**Phase Center Offsets:**

Description	Value	Unit
Correction Factor (a)	27.0	[mm]
Horizontal Offset (b)	112.0	[mm]
Phase Center Offset L1 (c1)	0.0	[mm]
Phase Center Offset L2 (c2)	0.0	[mm]

**5. Corrected Instrument Eccentricities**

Session	North [m]	East [m]	Height [m]
1	0.0000	0.0000	1.2028

Koreksi eksentrisitas

Informasi Satelit Stasiun Rover

**6. SVs tracked**

System	SVID	Observations
GPS	1	41
GPS	2	121
GPS	4	258
GPS	7	257
GPS	8	258
GPS	10	137
GPS	13	253
GPS	17	258
GPS	20	258
GPS	23	126
GPS	28	261
GLN	1	16
GLN	7	258
GLN	8	258
GLN	10	243
GLN	11	256
GLN	12	258
GLN	22	59
GLN	23	149

Satelit, ID/nomor satelit yang teramat pada sistem GPS

Satelit, ID/nomor satelit yang teramat pada sistem Glonass

ALL TIMES ARE GIVEN IN GPS + 0.00 HOURS

### 7. Processing Parameters

TROPOSPHERIC MODEL: MODIFIED HOPFIELD WITH FIXED MET DATA  
 REFERENCE: 293 K 1013 hPa 50 % - MEASURED AT 0 0 0 M  
 ROVER : 293 K 1013 hPa 50 % - MEASURED AT 0 0 0 M  
 MINIMUM SNR : 30 30  
 DUAL-FREQ. AMBIGUITY SEARCH : YES  
 OBSERVATION EDIT MULTIPLIER : 3.5  
 RELATIVE IONOSPHERIC ERROR : 1.1 PPM

WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available : 1  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available : 7  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available : 8  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available :10  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available :11  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available :12  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available :22  
 WARNING: (LDEF18)-W-Requested GLN satellite not available :23

RELATIVE EPHEMERIS ERROR : 1.0 PPM  
 MAX. RECEIVER TIME DIFFERENCE : 3.5 SECONDS  
 START TIME : 524103.5(01:35:00.00)END TIME : 528001.0(02:40:00.00)  
 INTERVAL : 15.00 CUTOFF GPS/GLN : 10/ 15 FREQUENCY : L1

Informasi terkait parameter-parameter yang digunakan dalam pemrosesan data, yang meliputi:

1. Model troposfer.
2. Informasi base dan rover.
3. Ambiguitas Fase.
4. Kesalahan Ionosfer.
5. Kesalahan ephemeris.
6. Kesalahan jam satelit.
7. Waktu awal dan akhir observasi.
8. Interval Pengamatan.
9. Frekuensi GPS yang dipakai

### 8. Deleted Time Windows

System	SVID	Start Time	End Time	Start (sec)	End (sec)
GPS	2	02:18:30.00	02:25:15.00	526704	527112
GPS	7	01:56:15.00	01:56:60.00	525369	525415
GPS	13	01:39:45.00	01:40:15.00	524388	524408
GPS	13	01:42:60.00	01:44:15.00	524577	524650
GPS	17	02:06:30.00	02:07:00.00	525995	526025
GPS	17	02:11:45.00	02:35:45.00	526310	527741
GLN	48	02:26:30.00	02:27:15.00	527188	527231
GLN	60	02:04:00.00	02:13:00.00	525843	526383
GPS	1	01:35:00.00	02:40:00.00	524103	528000
GPS	10	01:35:00.00	02:40:00.00	524103	528000
GPS	23	01:35:00.00	02:40:00.00	524103	528000
GPS	32	01:35:00.00	02:40:00.00	524103	528000
GLN	38	01:35:00.00	02:40:00.00	524103	528000

Informasi Deleted Time Windows dari satelit-satelit GPS/GLONASS terkait

WARNING: (ROBSV)-W- GLONASS CHANNEL ASSIGNMENT WRONG FOR SAT 1

### 9. Number of Single Differences

System	SVID	Observ.	Min_El	Max_El	Min_Snr1	Max_Snr1	Min_Snr2	Max_Snr2	Comment
GPS	2	86	10	18	32	42	30	40	
GPS	4	257	37	46	40	47	30	40	
GPS	7	253	48	79	35	47	30	42	
GPS	8	257	52	67	42	47	32	42	
GPS	13	250	23	30	35	45	30	40	
GPS	17	105	11	15	32	45	30	40	
GPS	20	257	29	43	37	47	30	40	
GPS	28	257	11	33	37	45	30	37	

Jumlah single difference dan jumlah observasi

GPS 8 <- Reference Satellite - Total No. of Observations : 1722

### 10. Satellite Availability

System	SVID	Start Date & Start Time	Stop Date & Stop Time
GPS	2	10-NOV-2012 02:05:45.00	10-NOV-2012 02:38:30.00
GPS	4	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:39:45.00
GPS	7	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:39:45.00
GPS	8	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:39:45.00
GPS	13	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:39:45.00
GPS	17	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:38:45.00
GPS	20	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:39:45.00
GPS	28	10-NOV-2012 01:35:45.00	10-NOV-2012 02:39:45.00

Ketersediaan satelit pada sistem GPS

**11. Number of Rejected Observations**

System	SVID	Elev	SNR	Marked	Losses of Lock
GPS	1	0	0	121	0
GPS	2	0	0	27	11
GPS	7	0	0	3	1
GPS	10	0	0	259	0
GPS	13	0	0	6	0
GPS	17	0	0	2	3
GPS	23	0	0	131	6
GPS	32	0	0	107	0
GLN	1	0	0	121	0
GLN	7	0	0	0	350
GLN	8	0	0	0	395
GLN	10	0	0	0	413
GLN	11	0	0	3	130
GLN	12	0	0	0	514
GLN	22	0	0	0	106
GLN	23	0	0	8	1

Informasi tentang jumlah satelit yang observasinya ditolak

**12. Triple Difference Solution**

Solusi Triple Difference

ITERATION 1 : POSITION SHIFTS DX DY DZ [m] = 0.538 -0.297 0.990  
 ITERATION 2 : POSITION SHIFTS DX DY DZ [m] = 0.057 0.096 0.030  
 ITERATION 3 : POSITION SHIFTS DX DY DZ [m] = 0.000 0.000 0.000

**13. Number of Cycle Slips**

System	SVID	Cycle Slips
GPS	2	2
GPS	7	1
GPS	13	3
GPS	17	1

Jumlah Cycle Slips

**14. Cycle Slip Summary for L1**

System	SVID	Time in Sec.	HH:MM:SS	Cycle Slip [cycles]	Sigma [cyc]	Recovery Comment
GPS	13	524370.00	01:39:30.00	2.045	0.004	L1 RECOVERED
GPS	13	524370.00	01:39:30.00	0.987	0.004	L2 RECOVERED
GPS	13	524415.00	01:40:15.00	3.923	0.004	L1 RECOVERED
GPS	13	524415.00	01:40:15.00	3.997	0.004	L2 RECOVERED
GPS	13	524655.00	01:44:15.00	28.259	0.011	NOT RECOVERED
GPS	7	525435.00	01:57:15.00	-172.846	0.006	L1 RECOVERED
GPS	7	525435.00	01:57:15.00	-14.019	0.006	L2 RECOVERED
GPS	2	527145.00	02:25:45.00	8.615	0.052	NOT RECOVERED
GPS	2	527835.00	02:37:15.00	-0.058	0.008	L1 RECOVERED
GPS	2	527835.00	02:37:15.00	6.854	0.008	L2 RECOVERED
GPS	17	527925.00	02:38:45.00	-30.808	0.208	DELETED

Informasi Cycle Slips secara lengkap

**15. Double Difference Solution**

Solusi Double Difference

**Double Difference Float Baseline Components**

Freq	dX [m]	dY [m]	dZ [m]	sX [mm]	sY [mm]	sZ [mm]	rms [mm]
L1	491.4195	134.5233	-298.6686	12.5	9.7	4.4	21.0
L2	491.5839	134.2754	-298.7314	9.9	7.7	3.5	16.7
Lw	490.8395	135.3983	-298.4470	72.0	55.8	25.3	121.2
Ln	491.4915	134.4147	-298.6961	7.5	5.8	2.6	12.6
Lc	491.1655	134.9065	-298.5715	37.9	29.3	13.3	63.7

**16. Determined Ambiguities [cycles]**

System	SVID	Arc	Ambiguity L1	Ambiguity L2	Ambiguity Lw	Ambiguity Ln	Ambiguity Lc
GPS	13	1	13.01	11.51	1.50	24.52	10.29
GPS	20	1	4.52	-2.68	7.20	1.84	16.82
GPS	28	1	4.15	9.26	-5.12	13.41	-7.82
GPS	2	1	5.14	-6.41	11.55	-1.28	25.80
GPS	7	1	-0.99	12.38	-13.37	11.39	-27.07
GPS	4	1	9.59	2.14	7.45	11.73	20.17
GPS	17	1	-3.31	3.30	-6.61	0.00	-14.97
GPS	13	2	46.77	39.56	7.21	86.33	40.59
GPS	2	2	14.25	9.52	4.73	23.77	17.39

Informasi Determined Ambiguities

System	SVID	Arc	Sigma L1	Sigma L2	Sigma Lw	Sigma Ln	Sigma Lc
GPS	13	1	0.05	0.03	0.06	0.05	0.14
GPS	20	1	0.08	0.05	0.10	0.08	0.24
GPS	28	1	0.04	0.02	0.05	0.04	0.12
GPS	2	1	0.05	0.03	0.07	0.06	0.16
GPS	7	1	0.03	0.02	0.03	0.03	0.08
GPS	4	1	0.03	0.02	0.03	0.03	0.08
GPS	17	1	0.04	0.02	0.05	0.04	0.11
GPS	13	2	0.05	0.03	0.07	0.06	0.16
GPS	2	2	0.05	0.03	0.06	0.05	0.15

Number of integer combinations to check = 135  
 Use of code measurements disabled due to large errors

**17. Regression Analysis for L1**

System	SVID	Arc	Sig_b[mm]	Sig_s[mm/s]	RMS[mm]	Observ.	CHI2	Probability [%]
GPS	13	1	3.8	0.0157	10.6	27	0.810	100.000
GPS	20	1	1.4	0.0005	11.2	257	9.243	100.000
GPS	28	1	1.4	0.0007	11.6	257	10.031	100.000
GPS	2	1	3.9	0.0139	11.4	33	1.172	100.000
GPS	7	1	3.9	0.0017	30.8	253	69.021	100.000
GPS	4	1	1.7	0.0008	13.6	257	13.626	100.000
GPS	17	1	1.9	0.0022	9.5	101	2.605	100.000
GPS	13	2	1.5	0.0008	11.3	223	8.238	100.000
GPS	2	2	4.9	0.0114	17.6	47	4.029	100.000

WARNING: (DOUBLE)-W-L1/L2 AMBIGUITY SEARCH DISABLED DUE TO INCONSISTENCY OF DATA

**18. Ambiguity Resolution Results for L1**

Confidence Test Levels: Chi-Squared: 99.9900 % - Fisher: 99.9900 %

Name of Test	Test Value	Second Best	Probability [%]	Statistic	Test Type	Comment
Bias	370.1	1251.4	100.000000	Chi-Square	Accepted	
Ratio	3.38	-	100.000000	Fisher Test	Accepted	

**Double Difference Fixed Baseline Components**

Freq	dX [m]	dY [m]	dZ [m]	sX [mm]	sY [mm]	sZ [mm]	rms [mm]
L1	491.5547	134.4674	-298.7167	1.8	3.1	1.3	29.9

**19. Determined Ambiguities**

System	SVID	Arc	Freq	Ambiguity [cycles]	Sigma
GPS	13	1	L1	13.000	0.000
GPS	20	1	L1	4.000	0.000
GPS	28	1	L1	4.000	0.000
GPS	2	1	L1	6.000	0.000
GPS	7	1	L1	-1.000	0.000
GPS	4	1	L1	10.000	0.000
GPS	17	1	L1	-3.000	0.000
GPS	13	2	L1	47.000	0.000
GPS	2	2	L1	15.000	0.000

**20. Reference Results**

Point_Info_Code	_n005_sesi1		
Geocentric position	-2200600.6890	5924577.0639	-857024.0770
Lat. Long. Height	S 7 46 25.75388	E 110 22 36.49743	161.9124

**21. Rover Results**

Point_Info_Code	BM08
Geocentric position	-2200109.1943 5924711.5343 -857322.7937
Lat. Long. Height	S 7 46 35.58640 E 110 22 19.93054 157.6567
Solution Type, Freq, Quality	Double Diff Fixed L1 Good
DeltaX, DeltaY, DeltaZ	491.5547 134.4674 -298.7167
Sigmas (N,E,H) [mm]	1.3 1.5 3.2
Sigmas (X,Y,Z) [mm]	1.8 3.1 1.3
Correlation Cxy,Cyz,Cxz	-0.405556 -0.001501 -0.059494
Min & Max PDOP, RDOP	1.86 3.84 0.15

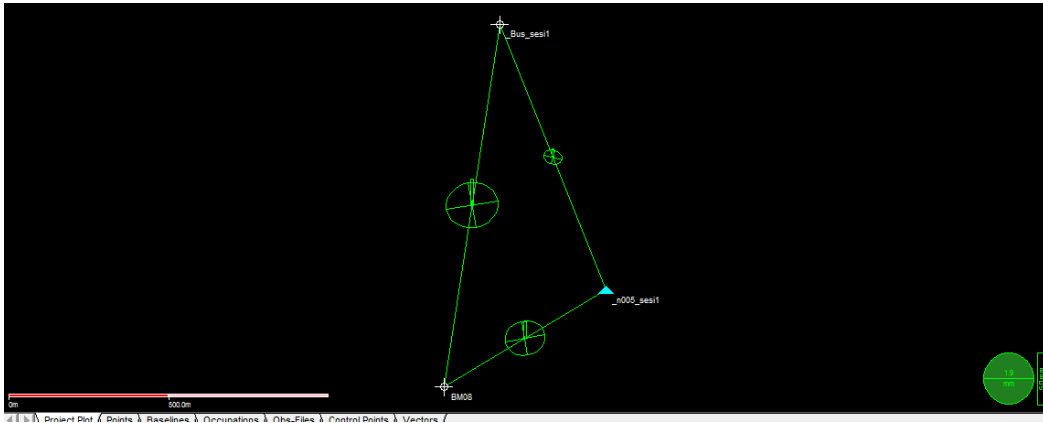
**22. Observation Statistics**

System	SVID	Arc	Number	RMS [mm]	Max elev
GPS	13	1	27	10.6	31
GPS	20	1	257	11.2	44
GPS	28	1	257	11.6	33
GPS	2	1	33	11.4	13
GPS	7	1	253	30.8	79
GPS	4	1	257	13.6	46
GPS	17	1	101	9.5	15
GPS	13	2	223	11.3	29
GPS	2	2	47	17.6	18

Gambar 26. Report dan informasi yang terdapat pada hasil pengolahan baseline \_n005\_sesi1 ke BM08

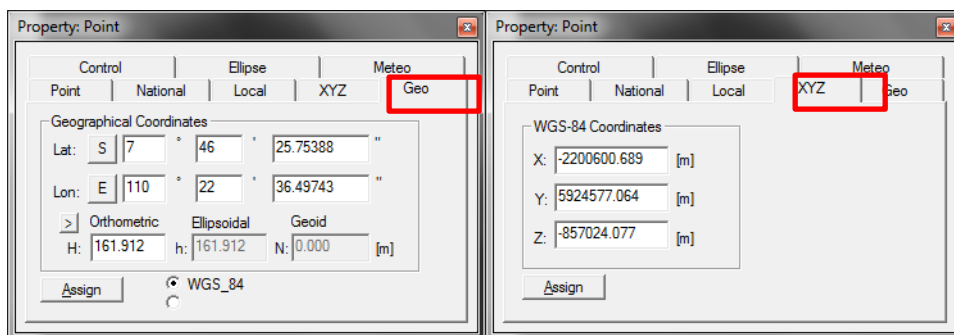
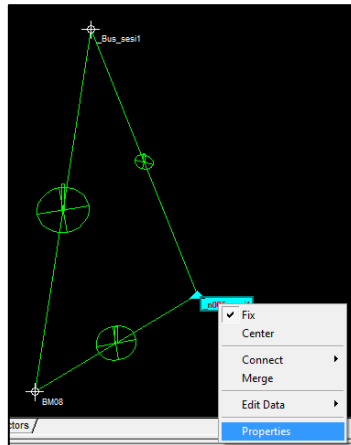


11. Melakukan pengolahan yang sama pada *baseline* lainnya (semua *baseline*).



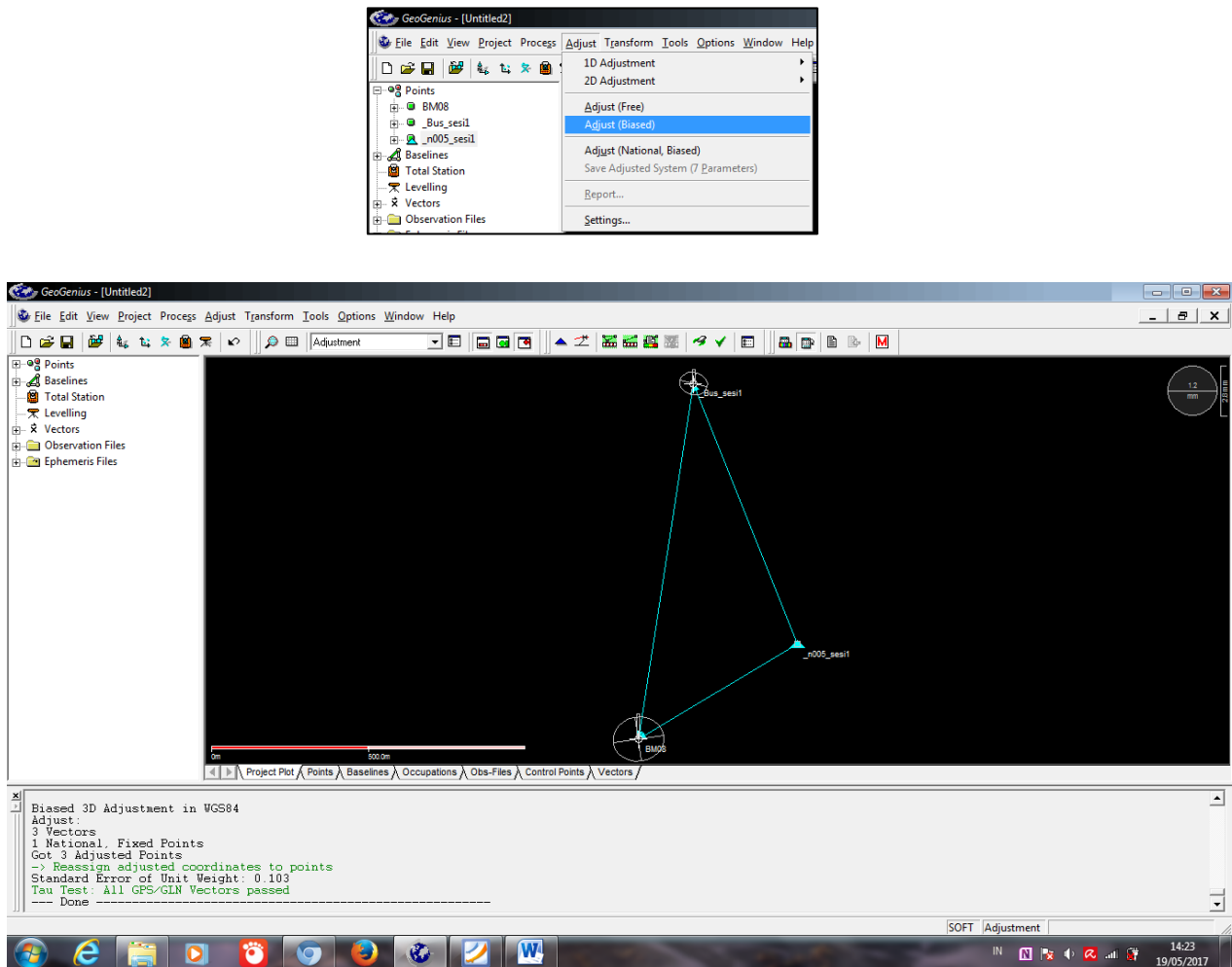
**Gambar 27.** Hasil pengolahan *baseline* per *baseline* untuk seluruh *baseline* yang di observasi

12. Pengolahan jaring GPS menggunakan *Geogenius* memerlukan minimal 1 stasiun yang memiliki koordinat *fixed*. Dalam praktikum ini, stasiun *\_n005\_sesi1* adalah titik *fixed*. Untuk mengganti koordinat titik *fixed* dengan melakukan klik kanan stasiun → *Properties* → memasukkan koordinat (dapat koordinat kartesi 3D/koordinat local/koordinat geodetik) → *Assign*.



**Gambar 28.** Pendefinisian koordinat titik *fixed*

13. Melakukan perhitungan perataan jaring dengan memilih *menu Adjust* → *Adjust (Biased)*.



Gambar 29. Hasil perataan jaring dengan *adjustment*

14. Melihat *file report*-nya dengan memilih *menu Adjust* → *Report*.

**SPECTRA PRECISION** TERASAT **Network Adjustment**

[www.terrasat.de](http://www.terrasat.de) GeoGenius 2.00, Copyright (C) 1997 - 1999 by Spectra Precision terraSat GmbH, 19/05/2017, 14:23:48

Statistics		
Network Adjustment in WGS84.		
Number of baselines	Jumlah <i>baseline</i> yang dilakukan <i>adjustment</i>	3
Number of terrestrial measurements	Jumlah alat ukur <i>terrestrial</i>	0
	Geoidmodel <b>Model Geoid</b>	None
Number of control points in WGS84	Jumlah titik kontrol	1
Number of adjusted points	Jumlah titik yang dilakukan <i>adjustment</i>	3
	Confidence level <b>Level kefidensi</b>	1 Sigmas
	Significance level for tau test <b>Level signifikansi</b>	1.00 %
	Standard error of unit weight <b>Standard error of unit height</b>	0.103
	Number of iterations <b>Jumlah iterasi</b>	1

**1. Baselines Input in WGS84 (Components and Std.Dev.)**

Baseline	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	sDX [mm]	sDY [mm]	sDZ [mm]
BM08-_Bus_sesi1	-221.659	91.458	1121.092	28.6	45.3	16.5
BM08-_n005_sesi1	-491.555	-134.467	298.717	18.4	30.8	12.6
_Bus_sesi1-_n005_sesi1	-269.895	-225.934	-822.374	9.4	14.3	5.5

Informasi komponen dan simpangan baku *baseline* yang diobservasi

Baselines which were rejected by the statistical test are marked.

**2. WGS84 Control Points Input (Cart. Coordinates and Std.Dev.)**

Informasi koordinat kartesian dan simpangan baku titik kontrol

Point	X [m]	Y [m]	Z [m]	sX [mm]	sY [mm]	sZ [mm]
_n005_sesi1	-2200600.689	5924577.064	-857024.077	0.0	0.0	0.0

**3. Adjusted Baselines in WGS84 (Components and Std.Dev.)**

Informasi komponen dan simpangan baku *baseline* yang telah dilakukan proses *Adjustment*

Baseline	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	sDX [mm]	sDY [mm]	sDZ [mm]
BM08-_Bus_sesi1	-221.660	91.463	1121.091	1.7	2.8	1.1
BM08-_n005_sesi1	-491.555	-134.470	298.717	1.6	2.6	1.1
_Bus_sesi1-_n005_sesi1	-269.895	-225.933	-822.374	0.9	1.4	0.5

**4. Baseline Corrections (Corrections and Normalized Corrections)**

Koreksi dan koreksi normalisasi *baseline*

Baseline	vN [mm]	vE [mm]	vH [mm]	vN/sN	vE/sE	vH/sH
BM08-_Bus_sesi1	0.2	-1.0	5.0	0.2	-0.8	1.7
BM08-_n005_sesi1	-0.0	1.1	-2.6	-0.0	0.8	-0.9
_Bus_sesi1-_n005_sesi1	0.0	-0.2	0.5	0.1	-0.2	0.3

Baselines which were rejected by the statistical test are marked.

**5. Adjusted Points in WGS84 (Cart. Coordinates and Std.Dev.)**

Informasi koordinat kartesian dan simpangan baku titik/stasiun yang telah dilakukan proses *Adjustment*

Point	X [m]	Y [m]	Z [m]	sX [mm]	sY [mm]	sZ [mm]
BM08	-2200109.134	5924711.534	-857322.794	1.6	2.6	1.1
_Bus_sesi1	-2200330.794	5924802.997	-856201.702	0.9	1.4	0.5
_n005_sesi1	-2200600.689	5924577.064	-857024.077	0.0	0.0	0.0

**6. Adjusted Points in WGS84 (Geogr. Coordinates and Std.Dev.)**

Informasi koordinat geografis dan simpangan baku titik/stasiun yang telah dilakukan proses *Adjustment*

Point	Lat [Deg]	Lon [Deg]	ell.H [m]	orth.H [m]	geoid.H [m]	sN [mm]	sE [mm]	sH [mm]
BM08	S7° 46' 35.58639"	E110° 22' 19.93050"	157.659	157.659	0.000	1.1	1.2	2.8
_Bus_sesi1	S7° 45' 58.71244"	E110° 22' 25.67296"	167.475	167.475	0.000	0.6	0.7	1.6
_n005_sesi1	S7° 46' 25.75388"	E110° 22' 36.49743"	161.912	161.912	0.000	0.0	0.0	0.0

**7. Adjusted Points in Local System (Plane Coordinates and Std.Dev.)**

Informasi koordinat lokal dan simpangan baku titik/stasiun yang telah dilakukan proses *Adjustment*

Point	N [m]	E [m]	ell.H [m]	sN [mm]	sE [mm]	sH [mm]
BM08	0.000	0.000	157.659	1.1	1.2	2.8
_Bus_sesi1	1132.822	175.955	167.475	0.6	0.7	1.6
_n005_sesi1	302.067	507.620	161.912	0.0	0.0	0.0

Radius of the Reference Sphere is 6372000.000 m.  
System origin is point BM08.

**8. Adjusted Points Error Ellipses**

Parameter elips kesalahan pada masing-masing titik/stasiun yang teratakan

Point	A [mm]	B [mm]	Angle [Deg]
BM08	1.2	1.1	82.3
_Bus_sesi1	0.7	0.5	-76.5
_n005_sesi1	0.0	0.0	0.0

**Gambar 30.** File report hasil perataan jaring

## Ucapan Terima Kasih

Pada Kemristek-Dikti dan LPPM Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang telah membiaya kami dalam hibah PUPT 2017.

## 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. Mc.Caffrey, 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*, 1<sup>st</sup>, 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 5<sup>th</sup> International (FIG) Symposium on Deformation Measurements and 5<sup>th</sup> 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, 201. doi:10.5047/eps.2013.09.010.
- El-Rabbany, A., 2002, *Introduction to GPS, The Global Positioning System*, 2<sup>nd</sup> 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 3<sup>rd</sup> 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://igsb.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 Gns 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.

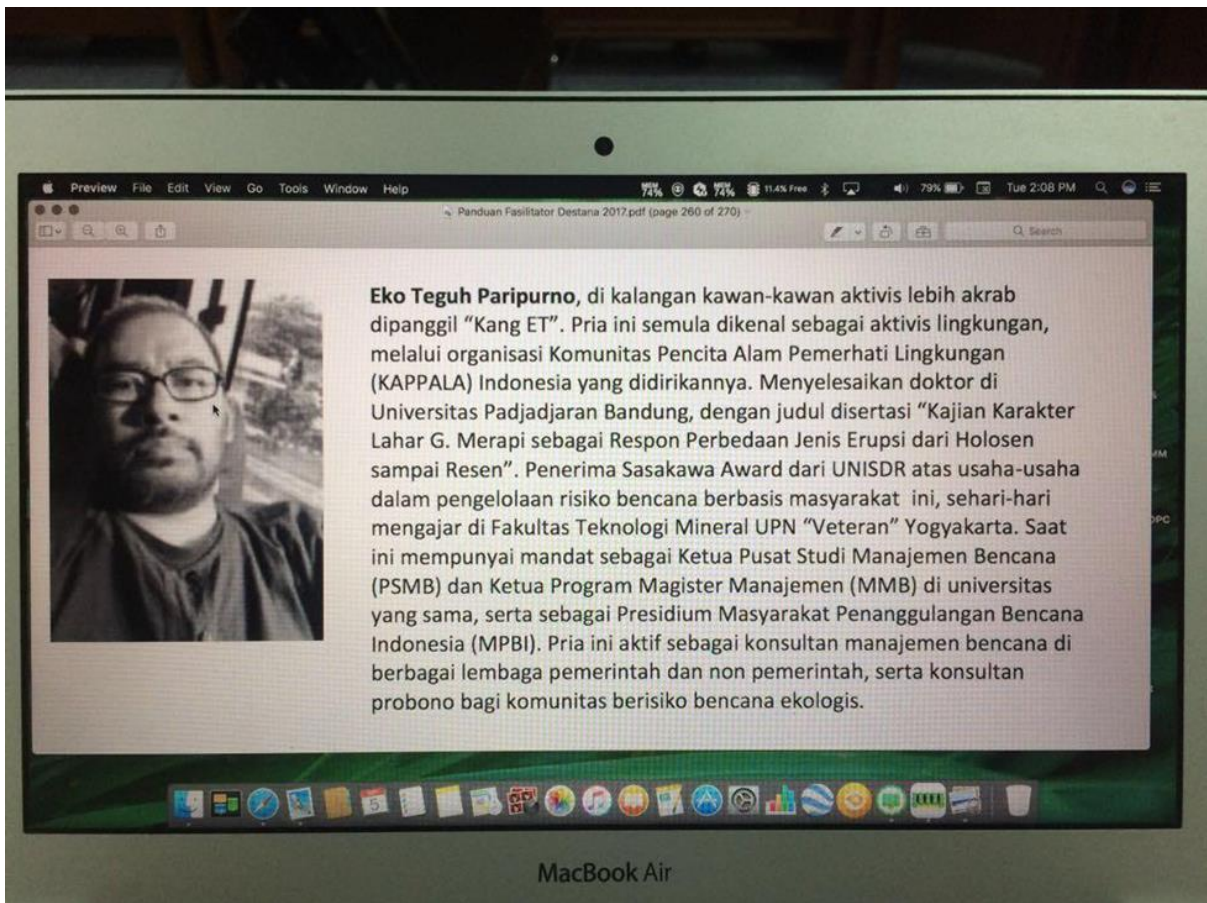
- Widjajanti N., 1997, *Analisis Deformasi–Status Geometrik Dua Dimensi dengan Pendekatan Generalisasi Matriks Kebalikan*, Tesis, Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Yulaikhah dan Andaru, R., 2013, *Analisis Pergerakan Kerangka Kontrol Sermo, Kulonprogo Tahun 2012-1013*, Laporan Akhir Penelitian, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta



Sugeng Raharjo dilahirkan di Bantul , 8 Desember 1958, Yogyakarta. Seluruh pendidikan dari SD,SMP, dan STM Pembangunan diselesaikan di Yogyakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta pada tahun 1988.

Pendidikan Magister di bidang Rekayasa Pertambangan dengan bidang kajian eksplorasi di Institut Teknologi Bandung di selesaikan pada tahun 1999. Pada tahun 2010 – 2016 menjabat Ketua Program Studi S1 di Prodi Teknik Geologi UPN “Veteran”, pada saat ini penulis menjabat Ketua Laboratorium Geokomputasi di Tekik Geologi UPN’ Veteran”.

Pernah sebagai anggota kajian studi bersama dengan perusahaan baik swasta maupun BUMN dalam bidang *Coal Bed Methana* . Pada tahun 1988 pernah bekerja di perusahaan tambang di Kalimantan timur. Saat ini penulis sedang melanjutkan studi di S3 Teknik Geologi UPN “Veteran”.







**Ir. Joko Hartadi, M.T.** Lulus S1 di Program Studi Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada (Fakultas Teknik UGM) tahun 1987, lulus S2 di Program Studi Pascasarjana Teknik Geodesi Institut Teknologi Bandung pada tahun 1995. Lahir di Banyuwangi tanggal 27 Januari 1961. Saat ini adalah dosen tetap Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Mengampu mata kuliah ilmu ukur tanah. Aktif dalam berbagai kegiatan pekerjaan sebagai Tenaga Ahli Geodesi seperti, di PT. Medco E&P Indonesia, Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Kab. Sumenep, Bidang ESDM Dinas Pekerjaan Umum Prop. DIY dan PT. Bumi Bara Makmur Mandiri. Pada Tahun 2017 aktif dalam kegiatan Pengukuran LARAP Daerah Irigasi Slinga Kab Purbalingga (Lanjutan) di Balai Wilayah Sungai Serayu Opak, Yogyakarta. Selain itu aktif juga dalam berbagai penelitian dan publikasi. Publikasi yang pernah dilakukan pada Tahun 2015 dalam acara Prosiding Seminar Nasional Kebumihao ke-10 Tahun 2015, Nomor ISBN 978-602-82M-67-9 dan Jurnal Geosaintek Jurusan Telmik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Tahun 1 Nomor 1, ISSN 2460-9072 dan Jurnal Ilmiah Geologi Pangea Vol 1 No. 1, pada Tahun 2014.



**Oktavia Dewi Alfiani, ST, MT.** Lahir di Lumajang, pada 11 Oktober 1985. Lulus S1 di Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung tahun 2008. Lulus S2 di program studi yang sama pada tahun 2011. Saat ini menjabat sebagai staf pengajar Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta sejak 2015 hingga sekarang. Aktif menulis di berbagai jurnal ilmiah nasional dalam bidang kebencanaan kebumihan dan deformasi permukaan bumi.



**Dessy Apriyanti, ST., M.Eng.** Lahir di Cirebon tanggal 22 April 1992. Telah menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2014 dan S2 di Program Studi Pascasarjana Teknik Geomatika Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2015. Saat ini menjadi dosen tetap yayasan di Program Studi Teknik Geodesi Universitas Pakuan, Bogor. Pada Tahun 2015 pernah menjabat sebagai Tenaga Ahli Geodesi di Balai Wilayah Sungai Kementerian PUPR di Batam. Pernah mengikuti Konferensi Internasional di Jepang dalam acara “The 8th International Student Conference on Advanced Science and Technology” pada tahun 2013. Aktif menulis di berbagai seminar nasional maupun internasional dalam bidang geodesi dan geomatika. Pernah mengikuti “Summer School Rapid Mapping Technique for Disaster Observation and Global Change

Data Acquisition” di Yogyakarta. Pada tahun 2017 mengikuti acara workshop remote sensing setingkat Asia Tenggara di Taiwan.





Buku ini mencakup tentang teori dasar GPS, proses pengambilan data lapangan, aplikasi dan tahapan memproses data dengan software, serta tahapan perhitungan data. Buku ini disusun bagi mahasiswa maupun masyarakat umum yang tertarik dengan proses pengukuran pergerakan tanah dengan GPS, agar lebih mudah dan lebih cepat untuk memahami sekaligus mengetahui proses pengukuran pergerakan tanah dengan GPS Geodetik.



Program Studi Teknik Geologi | Fakultas Teknologi Mineral  
**Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"**  
**Yogyakarta**

*Jl. Swk 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Depok, Sleman, DIY*

**2017**

