

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*)

Penurunan muka tanah diartikan sebagai penurunan tanah terhadap suatu bidang referensi tertentu yang dianggap stabil. Penurunan muka tanah dapat terjadi secara perlahan atau secara mendadak. Dalam banyak terjadi penurunan muka tanah berkisar dalam beberapa sentimeter per tahun. Perubahan muka tanah yang bersifat mendadak biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang nyata dan dapat diketahui secara langsung besar dan kecepatan penurunannya. Namun untuk penurunan muka tanah yang bersifat secara perlahan diketahui setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya bisa ditentukan dengan mekanisme secara periodik (A. Kurniawan dkk, 2013).

Berbagai penyebab terjadinya penurunan tanah alami bisa digolongkan menjadi (A. Kurniawan dkk, 2013):

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi, seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan pengambilan bahan cair yang ada di perut bumi, seperti air dan minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang diakibatkan oleh beban berat yang ada diatas bumi seperti struktur bangunan yang membuat lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan ini sering disebut *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari dalam bumi (aktivitas penambangan).
5. Sedimentasi daerah cekungan (*sedimentary basin*).
6. Adanya rongga di bawah permukaan tanah sehingga atap rongga runtuh dan hasil runtuhannya atap rongga membentuk lubang yang disebut *sinkhole*.

Fenomena penurunan muka tanah yang terjadi mengakibatkan beberapa wilayah yang mengalami dampak, tidak hanya kerugian dari segi materi tetapi juga

penurunan kualitas hidup (Kasfari dkk, 2018). Dampak yang ditimbulkan diantaranya:

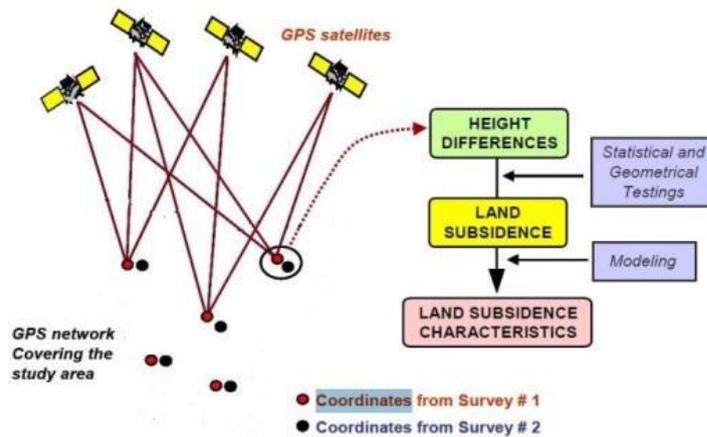
1. Amblesan tanah dan genangan air.
2. Rusaknya infrastruktur, seperti jalan, bangunan, gedung, dan lain-lain.
3. Intrusi air laut yaitu masuknya air laut kedalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung didalamnya.
4. Menyebabkan banjir rob.

II.2 *Global Navigation Satellite System (GNSS)*

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam bentuk frekuensi secara terus-menerus, yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi. GNSS memiliki peranan penting dalam bidang navigasi. GNSS yang ada saat ini adalah GPS (*Global Positioning System*) dari Amerika Serikat, GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) dari Rusia, GALILEO dari Uni Eropa, dan COMPASS atau Bei-Dou dari China. India dan Jepang telah mengembangkan kemampuan GNSS regional dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa untuk menambah kemampuan yang sudah disediakan oleh sistem global dalam menyediakan tambahan cakupan regional (Prasetyaningsih, 2012).

II.2.1 Survei GNSS Untuk Penentuan Penurunan Muka Tanah

Konsep dari pengamatan penurunan muka tanah dengan metode survei GNSS adalah dengan melakukan pengamatan pada titik-titik yang telah disebar di area yang akan diamati. Kemudian dilakukan pengamatan dengan GNSS selama selang waktu yang telah ditentukan secara periodik dan berkelanjutan untuk menentukan koordinat secara teliti. Pengamatan yang dilakukan akan menghasilkan koordinat yang berbeda dari waktu ke waktu, sehingga dapat dihitung dan dipelajari pola serta kecepatan perubahan koordinat titik pengamatan tersebut (Wirawan dkk, 2019).



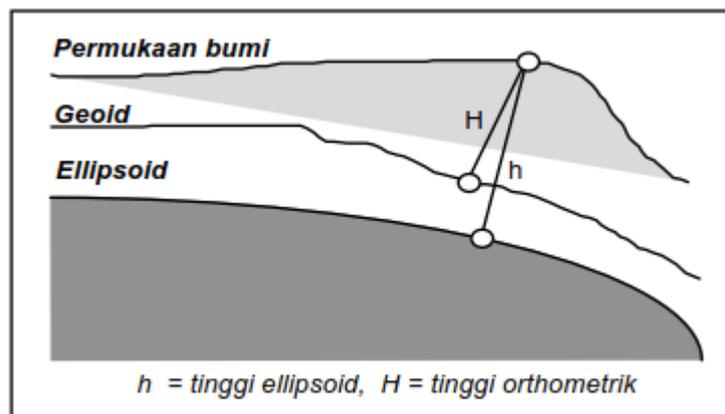
**Gambar II.1. Prinsip Pengamatan Muka Tanah Metode Survei GNSS
(Abidin, 2007)**

Studi pengamatan penurunan muka tanah menggunakan metode survei GNSS memiliki beberapa kelebihan yaitu (Wirawan dkk, 2019) :

- Survei GNSS memberikan vektor pergerakan tiga dimensi, yaitu dua dimensi horizontal dan satu dimensi vertikal sehingga didapatkan nilai penurunan muka tanah serta pergerakan tanah secara horizontal.
- Survei GNSS memberikan nilai vektor pergerakan dalam suatu referensi yang tunggal, sehingga dapat memantau pergerakan suatu wilayah regional secara efektif dan efisien.
- Survei GNSS dapat dilakukan tanpa tergantung oleh waktu dan cuaca, dikarenakan alat ukur (*receiver* GNSS) dapat digunakan baik siang maupun malam serta tahan terhadap air (*water resist*).
- Survei GNSS dapat memberikan nilai vektor pergerakan dengan tingkat presisi sampai beberapa milimeter, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan tingkat presisi yang tinggi dan konsisten ini maka diharapkan besarnya pergerakan dan penurunan muka tanah yang kecil sekalipun dapat terdeteksi dengan baik.

II.3 Penentuan Tinggi dan Beda Tinggi dengan GNSS

Ketinggian titik yang diberikan oleh GNSS adalah ketinggian titik di atas permukaan *ellipsoid*, yaitu *ellipsoid* WGS (*World Geodetic System*) 1984. Tinggi *ellipsoid* (h) tidak sama dengan tinggi orthometrik (H) yang digunakan untuk keperluan praktis sehari-hari yang diperoleh dari pengukuran sipat datar (*levelling*). Tinggi orthometrik suatu titik adalah tinggi titik di atas geoid diukur sepanjang garis gaya berat yang melalui titik tersebut, sedangkan tinggi *ellipsoid* suatu titik adalah tinggi titik di atas *ellipsoid* dihitung sepanjang garis normal *ellipsoid* yang melalui titik tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.2. (Z. Abidin dkk, 2004).



**Gambar II.2. Tinggi ellipsoid dan tinggi orthometrik
(Z. Abidin dkk, 2004)**

Geoid adalah bidang referensi untuk menyatakan tinggi orthometrik. Secara matematis, geoid adalah suatu permukaan yang kompleks yang memerlukan sangat banyak parameter untuk mempresentasikannya. Oleh karena itu, untuk merepresentasikan bumi secara matematis serta perhitungan matematis menggunakan suatu *ellipsoid* referensi dan bukan geoid. Ellipsoid referensi dan geoid tidak berimpit, dalam hal ini ketinggian geoid terhadap ellipsoid dinamakan undulasi geoid (N) (Z. Abidin dkk, 2004).

Untuk dapat mentransformasi tinggi *ellipsoid* hasil ukuran GNSS ke tinggi orthometrik, maka diperlukan undulasi geoid di titik yang bersangkutan (Z. Abidin dkk, 2004).

Persamaan rumus untuk transformasi tinggi *ellipsoid* menjadi tinggi orthometrik dirumuskan dalam persamaan (II.1) sebagai berikut:

$$H = h - N \text{ (II.1)}$$

Keterangan dalam persamaan (II.1) dijelaskan sebagai berikut:

H = tinggi orthometrik

h = tinggi *ellipsoid*

N = undulasi geoid (beda tinggi orthometrik dan tinggi *ellipsoid*)

II.4 Earth Gravitational Model 2008 (EGM 2008)

Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) adalah sebuah model harmonik sferis dari potensial gravitasi bumi, yang dapat digunakan untuk menentukan undulasi geoid pada suatu posisi (Mohammad dkk, 2008). EGM2008 merupakan salah satu solusi untuk mendapatkan data tinggi orthometrik. EGM2008 dikembangkan oleh *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)* yang memiliki data *Anomaly Gravity* (Δg) dan nilai Undulasi Geoid (N) (Marcelino dkk., 2010).

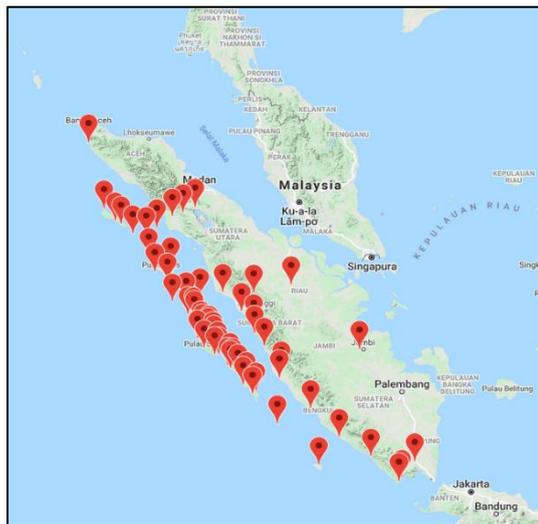
II.5 Continuously Operating Reference Station (CORS)

Continuously Operating Reference Station (CORS) adalah suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan kontinu selama 24 jam per hari, 7 hari per minggu dengan mengumpulkan, merekam, mengirim data, dan memungkinkan para pengguna (*users*) memanfaatkan data dalam penentuan posisi, baik secara *post processing* maupun secara *real time* (*Guidelines for New and Existing CORS* dalam Afif dkk, 2018).

II.5.1 Sumatran GPS Array (SuGAR)

Sumatran GPS Array (SuGAR) merupakan jaringan stasiun pemantau GPS kontinu yang dioperasikan oleh LIPI dan *Earth Observatory of Singapore (EOS)* –

Nanyang Technological University. SuGAR dimulai dengan memasang 6 buah stasiun Cgps (*Continued GPS*) pada tahun 2002. SuGAR digagas oleh Professor Kerry Sieh dan rekan-rekannya di *California Institute of Technology* (CalTech) Tektonik *Observatory* pada tahun 2002 (Jamil, 2020). SuGAR membentang lebih dari seribu kilometer dari batas lempeng konvergen antara lempeng tektonik Indo-Australia dan Asia. SuGAR memiliki 58 stasiun GPS, dengan jaringan ini dapat menyediakan banyak informasi tentang *megathrust* Sunda dan patahan Sumatra.



Gambar II.3. Persebaran titik stasiun SuGAR

(sumber: <http://sugar.geotek.lipi.go.id>)

II.5.2 Indonesia *Continuously Operating Reference Station* (InaCORS)

InaCORS merupakan stasiun *Continuously Operating Reference Station* (CORS) yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). InaCORS bermanfaat untuk berbagai macam aplikasi penentuan posisi dalam kegiatan survei dan pemetaan. Selain itu InaCORS dimanfaatkan untuk monitoring pergerakan lempeng bumi, studi geodinamika, riset atmosfer, ionosfer, serta untuk keperluan gempa bumi dan tsunami (Gujarati dan Porter, 2010). InaCORS memiliki 3.974 pengguna aktif yang terdiri atas sektor pemerintah, akademisi, dan swasta. Pada awal tahun 2018, BIG memiliki 137 stasiun InaCORS yang terdiri atas 112 stasiun dengan komunikasi data *online* dan 25 stasiun dengan komunikasi data *offline* (Mundakir dkk, 2013). Pada akhir tahun 2018 stasiun InaCORS bertambah menjadi 187 stasiun, kemudian bertambah lagi menjadi 207 pada tahun 2019.

II.6 Scientific Software GAMIT/GLOBK

GAMIT (*GPS Analysis Massachusetts Institute of Technology*) dan GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GP analysis program*) merupakan perangkat lunak yang bersifat ilmiah dan bersifat terbuka dengan *platform* berbasis UNIX/LINUX. GAMIT dan GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institution Of Oceanography*), CfA (*Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics*) dan *Scripps Institution of Oceanography* (SIO) untuk mengestimasi koordinat dan kecepatan stasiun, representasi fungsional dan stokastik dari pasca kejadian deformasi, *delay* atmosfer, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. Untuk mengontrol proses dari *software* memakai *C-Shell scripts* (disimpan di */com* dan sebagian besar *script*-nya dimulai dengan *sh*) yang mana melibatkan bahasa *Fortran* atau C untuk proses *compile* di direktori/*libraries*/GAMIT dan */kf*. Jumlah stasiun maksimal dan pemberian parameter atmosfer ditentukan oleh kumpulan dimensi saat waktu *compile* dan dapat menyesuaikan persyaratan serta kemampuan perhitungan analisis (Adzindani Reza Wirawan, 2019).

GLOBK ini dapat mengkombinasikan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Hasil akhir dari pengolahan data GAMIT berupa *file q*, *file h* dan *file l*. *File h* digunakan untuk langkah selanjutnya dengan *software* GLOBK. Hasil akhir pengolahan dengan GLOBK berupa *file *.prt* digunakan untuk perhitungan akhir terhadap koordinat dan ketelitian tiap stasiun, panjang *baseline*, ketelitian serta matriks-matriks *baseline*-nya (Adzindani Reza Wirawan, 2019).

II.7 The Australia Surveying and Land Information Group's Online GPS Processing System (AUSPOS)

AUSPOS adalah GPS statis *online Geoscience* Australia layanan pemosisian yang menyediakan akses pengguna melalui *web* sederhana. AUSPOS diluncurkan pada tahun 2001. AUSPOS merupakan layanan pemrosesan statis *online* menggunakan strategi analisis jaringan berdasarkan Perangkat Lunak GNSS Bernese versi 5.2. Layanan ini menyediakan pengguna dengan koordinat tepat di ITRF 2008 dimana saja secara global. AUSPOS digunakan secara ekstensif oleh

geospasial Australia, pertambangan, industri konstruksi, dan pertahanan untuk membangun tepat kontrol survei. AUSPOS banyak digunakan dalam aplikasi dan penelitian GNSS di seluruh dunia. AUSPOS menggunakan IGS terbaik termasuk orbit akhir IGS, koreksi jam akhir, dan parameter rotasi bumi akhir (Jia dkk, 2014).

AUSPOS dirancang dan diimplementasikan dengan fitur dan tujuan desain berikut (Dawson dkk, 2001):

- Halaman *web* antarmuka yang mudah digunakan;
- Kemampuan pemrosesan data GPS geodetik berfrekuensi ganda;
- Standar pemrosesan GPS global kualitas tertinggi;
- Layanan 24 jam x 7 hari seminggu;
- Perputaran pemrosesan yang cepat, <15 menit/file;
- Hasil didapatkan melalui *email*;
- Berlaku dimana saja.

II.8 Interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW)

Metode IDW adalah metode yang memiliki asumsi bahwa setiap titik input mempunyai pengaruh yang bersifat lokal yang berkurang terhadap jarak. Metode IDW dipengaruhi oleh *inverse* jarak yang diperoleh dari persamaan matematis. Pada metode interpolasi ini kita dapat menyesuaikan pengaruh relatif dari titik-titik sampel. Nilai *power* pada interpolasi IDW ini menentukan pengaruh terhadap titik-titik masukan (*input*), dimana pengaruh akan lebih besar pada titik-titik yang lebih dekat sehingga menghasilkan permukaan yang lebih detail. Pengaruh akan lebih kecil dengan bertambahnya jarak dimana permukaan yang dihasilkan kurang *detail* dan terlihat lebih halus. Jika nilai *power* diperbesar berarti nilai keluaran (*output*) sel menjadi lebih terlokalisasi dan memiliki nilai rata-rata yang rendah. Penurunan nilai *power* akan memberikan keluaran dengan rata-rata yang lebih besar karena akan memberikan pengaruh untuk area yang lebih luas. Jika nilai *power* diperkecil maka dihasilkan permukaan yang lebih halus (Pasaribu dan Haryani, 2012).