

Sistem Geodetik Global 1984 (WGS 1984) Dalam Menentukan Nilai Gravitasi Normal (G_n)

Karit L. Gaol

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135

SARI: Anomali gravitasi adalah perbedaan antara gravitasi diamati dengan gravitasi normal yang mengacu pada perhitungan rumus gravitasi dengan bidang referensi geodesi tertentu. Nilai gravitasi diamati tergantung pada bentuk geometri permukaan bumi, struktur, geologi serta penyebaran rapat massa batuan penyusun kulit bumi. Sedangkan nilai gravitasi normal tergantung pada bentuk dan ukuran bidang referensi geodesi yang digunakan dalam pemetaan gravitasi tersebut. Sesuai dengan tingkat kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam survei geodesi, penelitian mengenai elipsoid referensi ini secara bertahap menghasilkan data-data yang berkembang mendekati keadaan yang sebenarnya. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dikenal beberapa elipsoid referensi seperti Elipsoid Hayford 1909, Elipsoid Sistem referensi Geodetik 1967 (GRS 1967), Elipsoid Sistem Geodetik global 1984 (WGS 1984), dan lain-lain. Hubungannya dengan survei gravitasi, Elipsoid Hayford 1909 digunakannya sebagai acuan rumus gravitasi internasional 1930. Berdasarkan perkembangan selanjutnya, rumus gravitasi 1930 tersebut kemudian diganti dengan rumus gravitasi 1967. Perkembangan tersebut terus berlanjut, hingga akhirnya ditemukan Elipsoid Sistem Geodetik Global 1984 dengan rumus gravitasi normal yang didasarkan pada elipsoid tersebut. Untuk Menciptakan basis data anomali gravitasi global tunggal, maka penggunaan rumus gravitasi normal mengacu pada Elipsoid sistem Geodetik Global 1984 sudah saatnya dilakukan.

Kata kunci: Geodetik Global (WGS 1984), Referensi Elipsoid, Gravitasi (G_n)

PENDAHULUAN

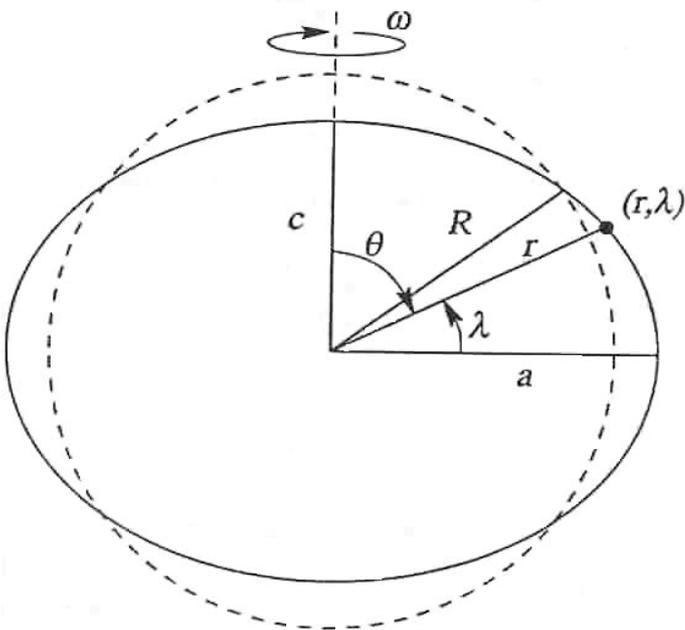
Permukaan bumi merupakan bidang tak beraturan yang cenderung berbentuk lengkung, sehingga hubungan geometris antara titik satu dengan lainnya dipermukaan bumi tidak dapat ditentukan. Hubungan geometris tersebut yang secara praktis dapat dinyatakan dalam bentuk peta topografi, merupakan data penting untuk berbagai keperluan, baik untuk keperluan praktis maupun keperluan ilmiah. Untuk keperluan pemetaan diperlukan model matematis yang mempunyai bentuk dan ukuran tertentu sehingga mendekati bentuk dan ukuran bumi. Karena elipsoid (lebih tepat disebut elipsoid referensi) ini merupakan model matematis yang ha-

nya mempunyai bentuk dan ukuran tertentu, maka model tersebut tidak mempunyai arti fisis sehingga tidak mempunyai makna yang berarti bagi penelitian geodesi. Oleh karenanya maka elipsoid referensi perlu didudukkan (diorientasikan) dalam ruang sedemikian rupa, sehingga bersinggungan atau hampir berhimpit dengan permukaan bumi. Dalam kondisi dan situasi demikian, elipsoid tersebut dapat dinyatakan sebagai model matematis bumi sehingga dapat berfungsi sebagai bidang acuan perhitungan geodesi.

Disamping model elipsoid referensi, dikenal pula model lainnya yang sulit didefinisikan secara matematis karena memerlukan lebih banyak

parameter. Model ini dikenal sebagai geoid. Secara ilmiah geoid didefinisikan sebagai bidang ekuipotensial gravitasi bumi, sehingga potensial disetiap tempat pada permukaan geoid tersebut adalah sama. Secara praktis, geoid didefinisikan sebagai bidang permukaan laut rata-rata yang tidak terganggu gaya apapun (Blakely, R.J., 1995). Berbeda dengan elipsoid yang merupakan bidang lengkung teratur, geoid merupakan bidang lengkung yang bentuknya tak beraturan. Karena merupakan bidang ekuipotensial gravitasi, permukaan geoid selalu tegak lurus terhadap arah gravitasi. Dalam survei topografi, arah gravitasi ini dijadikan pedoman guna mengatur alat ukur, yaitu sumbu pertama alat ukur (yang merupakan poros tempat berputarnya alat ke arah horizontal) harus dibuat sejajar dengan arah gravitasi tersebut, sehingga arah ini menjadi acuan bagi hasil pengukuran di lapangan.

Dalam hubungannya dengan survei gravitasi, ketiga macam bidang tersebut di atas (bidang permukaan bumi, elipsoid referensi dan geoid) sangat erat kaitannya dalam pengolahan data hasil ukuran, khususnya dalam melakukan reduksi data gravitasi dari permukaan bumi ke geoid dan perhitungan gravitasi normal di atas bidang elipsoid.



Gambar 1 Parameter Elipsoid Referensi pada Sistem WGS 1984.

ELIPSOID REFERENSI

Elipsoid referensi merupakan model matematis bumi, maka semua data ukuran dipermukaan bumi direduksi ke model tersebut. Untuk mendapatkan reduksi yang kecil, maka elipsoid harus diorientasikan sedemikian rupa sehingga keduduk-

kannya berhimpit atau mendekati bumi. Ada dua macam orientasi yang dapat dilakukan, yaitu:

- Orientasi relatif adalah mendudukkan elipsoid sehingga berhimpit dengan bumi dititik tertentu (disebut titik datum), kemudian sumbu pendek elipsoid harus sejajar dengan sumbu putar bumi, serta massa elipsoid sama dengan massa bumi. Misalnya elipsoid yang menggunakan Geodetic Reference System 1967 sebagai bidang datumnya.
- Orientasi absolut adalah mendudukkan elipsoid dalam ruang sedemikian rupa sehingga pusat elipsoid berhimpit dengan pusat masa bumi, sumbu elipsoid berhimpit dengan sumbu putar bumi, serta masa elipsoid sama dengan massa bumi. Misalnya elipsoid World Geodetic System (WGS 1984).

Dalam pertemuan International Association of Geodesy (IAG) yang dilakukan di Madrid Tahun 1924, telah menetapkan Elipsoid Hayford 1909 sebagai Elipsoid Referensi Internasional. Pertemuan ini juga menetapkan kecepatan rotasi bumi (ω) dan nilai gravitasi normal di ekuator (G_e). Dengan demikian, Elipsoid Hayford 1909 ditetapkan acuan geometrik (posisi geodetik) dan medan gravitasi bumi. Kemudian pada tahun 1967 IAG mengadakan pertemuan di Lucerne, intinya membicarakan masalah elipsoid *reference* Hayford 1909. Berdasarkan hasil penelitian lebih lanjut diketahui bahwa elipsoid dan rumusan gravitasi normal yang disusun berdasarkan parameter elipsoid tersebut dinilai belum mencerminkan keadaan yang sebenarnya. Kemudian IAG pada pertemuan General Assembly International Union of Geodesy and geophysics (IUGG) ke XV di Moskow, Agustus 1971 mendefinisikan suatu elipsoid referensi yang dinamakan Geodetic Reference System 1967 (GRS 1967). Dalam kongres IUGG yang ke XVII di Canberra dikemukakan bahwa GRS 1967 ternyata belum sesuai dengan keadaan data yang terkumpul kemudian, sehingga perlu diganti dengan sistem referensi yang lebih sesuai. Maka keluarlah Sistem referensi pengganti yang dikenal GRS 1980. Dalam perkembangan selanjutnya, Departemen Pertahanan Amerika Serikat menemukan World Geodetic System 1984 (WGS 1984) yang merupakan perbaikan sistem sebelumnya. Tabel 1. menunjukkan parameter elipsoid referensi GRS 1967, GRS 1980 dan WGS 1984.

DATUM INDONESIA

Datum Lokal

Pengukuran topografi di Indonesia dimulai sejak tahun 1862 hingga tahun 1880, yaitu sejak

dilakukannya pengukuran triangulasi di Pulau Jawa. Dalam pengukuran triangulasi ini, setiap titik ukur harus saling terlihat sehingga titik tersebut biasanya dibuat di atas gunung. Pembuatan triangulasi di Jawa berjumlah 114 titik dihitung berdasarkan acuan triangulasi di gunung Genuk, Jawa Tengah untuk perhitungan lintang dan azimuthnya menganggap Jakarta meridian nol untuk perhitungan bujur. Sistim triangulasi ini dihitung berdasarkan elipsoid Bessel 1841, dan pada tahun 1883 pengukuran triangulasi ini diperluas ke Pulau Sumatra, Bali dan Lombok. Tahun 1911 dilakukan pembuatan triangulasi di pulau Sulawesi tetapi karena keterbatasan teknologi saat itu sistem triangulasi ini tidak terikat dengan di Jawa, Sumatra, Bali dan Lombok. Triangulasi Sulawesi dihitung dengan acuan titik triangulasi di gunung Moncong Lowe, Sulawesi Selatan untuk perhitungan lintang dan azimuth dengan menganggap Ujungpandang sebagai meridian nol untuk perhitungan bujur.

Datum Indonesia 1974

referensi di Indonesia. Keputusan ini didasarkan karena lebih teliti baik untuk ilmiah maupun keperluan praktis dan pembuatan peta skala kecil maupun besar. GRS 1967 dapat mencakup seluruh wilayah Indonesia dalam satu sistim sehingga tercipta sistim referensi tunggal. GRS 1967 ini dinamai oleh Bakosurtanal Sferoid Nasional Indonesia (SNI). Untuk menentukan orientasi elipsoid referensi dalam ruang, maka kemudian SNI dihipitikan dengan elipsoid NWL-9D (sistim referensi teknologi Doppler) dititik eksentris (Stasiun Doppler BP-A 1884) di Padang. Dengan demikian stasiun Doppler BP-A ini dianggap sebagai datum tunggal geodesi di Indonesia. Datum ini diberi nama oleh Bakosurtanal Datum Indonesia 1974 dan merupakan datum relatif.

Datum Geodesi Nasional 1995

Cara penentuan posisi dan pengolahan data dengan pengamatan Doppler untuk membangun

Tabel 1. Parameter elipsoid sistim referensi (Chovitz, B.H, 1981)

Parameter	Sistim 1924-1930	Sistim GRS 1967	Sistim GRS 1980	Sistim WGS 1984
a (km)	6378,388	6378,160	6378,137	6378,137
b (km)	6356,775	6356,775	6356,752	6356,752
1/f	0.03352930	0.03352925	0.03352813	0.03352813
G_e (m/det ²)	9,780490	9,780318	9,780327	9,780327
G_p (m/det ²)	9,832177	9,832177	9,832186	9,832186
ω (rad/det ²)	0,0010920	0,0010827	0,00108263	0,00108263
β_1	0,0053014	0,0053014	0,0053024	0,0053014
β_2	-0,0000059	-0,0000059	-0,0000058	-0,0000059

dimana :

a : Setengah sumbu panjang elipsoid

b : Setengah sumbu pendek elipsoid

f : Pengepengan elipsoid

G_e : Nilai anomali gravitasi normal di ekuator

G_p : Nilai anomali gravitasi di kutub

ω : Kecepatan rotasi bumi

β_1 : Konstanta gravitasi normal pada lintang φ

β_2 : Konstanta gravitasi normal pada lintang φ

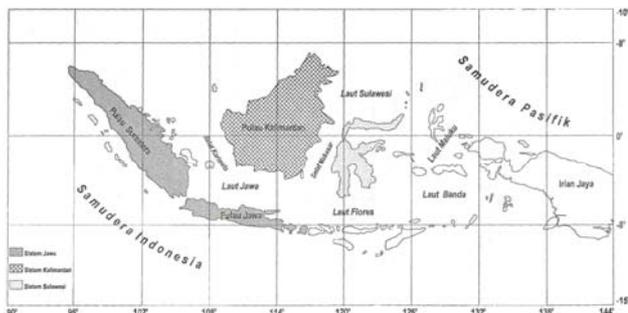
Pemetaan topografi di Indonesia diperlukan ilmu pengetahuan dan teknologi tinggi untuk dapat mempersatukan sistim-sistim referensi datum, sehingga seluruh wilayah dapat tercakup dalam satu sistim pemetaan. Dengan diketemukannya teknologi pengukuran yang menggunakan sarana satelit (satelit Doppler) maka wilayah-wilayah yang tersebar di Indonesia dapat dipersatukan.

Untuk menunjang sistim pemetaan tunggal di Indonesia, pada tahun 1975 Ketua badan kordinasi survei dan pemetaan nasional (Bakosurtanal) mengeluarkan surat bernomor 019.2.2/I/1975 tentang penggunaan GRS 1967 sebagai elipsoid

jaringan kontrol geodesi di Indonesia tidak seragam karena sebagian tidak diproses dengan menggunakan *broadcast ephemeris* sedangkan sebagian lagi di proses dengan menggunakan *precise ephemeris*, sehingga dari segi ketelitian jaringan kontrol geodesi nasional belum seragam.

Dengan digunakannya teknologi baru yaitu Global Positioning System (GPS), maka dibangunlah Jaringan Kontrol Geodesi Nasional (JKGN) orde nol yang tersebar merata di seluruh wilayah Indonesia. Pengolahan data sepenuhnya menggunakan *precise ephemeris* sehingga posisigeodetik dalam jaringan ini mempunyai

ketelitian yang seragam. Berdasarkan hasil pengukuran JKGN ini maka Ketua Bakosurtanal menetapkan Datum Geodesi Nasional 1995 (DGN 1995) sebagai datum tunggal Indonesia menggantikan datum sebelumnya yaitu DI-1974. Datum ini menggunakan elipsoid referensi WGS 1984, serta merupakan datum geosentrik (datum absolut).

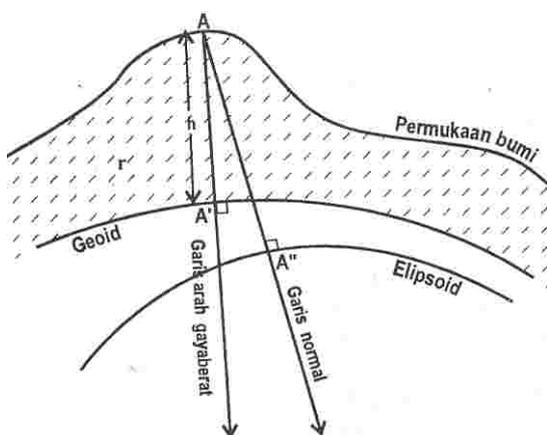


Gambar 2. Pembuatan Sistem Pemetaan di Indonesia pertama kali

GRAVITASI

Gravitasi Bumi

Metoda gravitasi merupakan salah satu metoda geofisika yang berlandaskan variasi gravitasi bumi. Pengukuran gravitasi ini dimana adanya perbedaan kecil dari medan gravitasi yang diakibatkan variasi massa di kerak bumi. Metoda ini diharapkan mampu mengukur perbedaan rapat massa suatu material terhadap lingkungan disekitarnya. Dengan demikian dapat memperkirakan struktur bawah permukaan. Hal ini penting untuk studi perencanaan awal dalam eksplorasi sumberdaya mineral dan minyak.



Gambar 3 Sistem reduksi anomali gravitasi

Sebaran secara horizontal dan vertikal dari variasi rapat massa bumi dapat ditentukan dari data gravitasi melalui suatu besaran yang disebut anomali Bouguer, yaitu penimpangan antara nilai gravitasi

hasil pengukuran, direduksi ke bidang geoid atau disebut nilai gravitasi teoritis atau gravitasi normal (G_n). Dengan demikian nilai gravitasi teoritis adalah gravitasi pada permukaan bumi yang dianggap berbentuk elipsoid sehingga nilai tersebut akan mempunyai nilai teratur serta bergantung terhadap nilai lintang geodetis. Chuji Tsuboi, 1983, secara umum untuk menghitung gravitasi normal (G_n) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$G_n = G_e (1 + \beta_1 \sin^2 \varphi + \beta_2 \sin^4 \varphi)$$

dimana G_n adalah gravitasi normal di stasiun titik ukur, G_e adalah gravitasi normal di ekuator, β_1 , β_2 adalah konstanta elipsoid referensi, dan φ adalah koordinat lintang

Penelitian gravitasi di Indonesia

Tahun 1923 Vening Mainesz melakukan pengamatan gravitasi di daerah perairan Indonesia dengan menggunakan bandul yang dipasang di kapal selam. Kemudian sekitar tahun empat puluhan dilanjutkan di darat, yang dilaksanakan perusahaan minyak asing dengan menggunakan alat torsion balance. Kegiatan tersebut dilakukan dalam rangka eksplorasi minyak bumi di Indonesia dan pada tahun lima puluhan dilanjutkan pengukuran dengan menggunakan peralatan pegas.

Pemetaan Anomali Gravitasi di Indonesia

Pada tahap awal Repelia I, Jawatan Geologi (sekarang Pusat Survei Geologi) telah melakukan pemetaan gravitasi bersistem di Indonesia. Data dasar ini selain diperlukan untuk kepentingan ilmiah kebumihan, juga dibutuhkan untuk pembangunan industri dan pertambangan. Berhubung penelitian kebumihan ini sifatnya sangat kompleks, maka diperlukan kerjasama berbagai disiplin ilmu kebumihan untuk menghasilkan data dasar kebumihan yang akurat, efisien, komunikatif dan siap pakai. Oleh karena itulah Pemerintah membentuk beberapa badan penelitian antara lain LIPI, Bakosurtanal Pusat Survei Geologi yang berfungsi melaksanakan penelitian tersebut di atas.

Perbedaan G_n sistim GRS 1967 dengan WGS 1984

Berdasarkan tabel.1 nilai gravitasi normal (G_n) adalah:

GRS 1967

$$G_n = 9,78031846 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi + 0,0000058 \sin^4 \varphi)$$

WGS 1984

$$G_n = 9,78032677 (1 + 0,0053014 \sin^2 \varphi + 0,0000059 \sin^4 \varphi)$$

Jadi untuk melakukan koreksi peta gravitasi dari sistim GRS 1967 ke sistim WGS 1984 perlu direduksi sebesar:

$$\Delta G_n = G_n \text{ WGS,84} - G_n \text{ GRS,67}$$

Tetapi yang menjadi permasalahan sekarang adalah nilai referensi koordinat lintang (φ) kedua sistim tersebut tidak sama.

DISKUSI

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi sekarang ini telah memungkinkan penggunaan teknologi satelit dalam berbagai bidang keilmuan, baik yang sifatnya ilmiah maupun praktis. Pemanfaatan teknologi satelit ini dalam survei dan pemetaan khususnya penentuan posisi. Walaupun teknologi ini bukan satu-satunya teknologi penentuan posisi, tetapi metoda ini hampir disemua tempat dapat dipergunakan tanpa terganggu oleh waktu dan cuaca. Teknologi satelit yang banyak dipergunakan di setiap Negara adalah Metoda GPS (Global positioning System). Metoda GPS ini menggunakan WGS 1984 sebagai acuan perhitungan posisi yang mengacu pada datum geosentrik berlaku untuk Internasional. Dengan adanya persamaan pemakaian sistim datum posisi dengan sistim datum gravitasi normal sama-sama menggunakan sistim WGS 1984, maka dapat diperoleh beberapa keuntungan dan kelemahannya antara lain: Pertama tidak perlu dilakukan transformasi koordinat hasil pengukuran GPS ke sistim lokal. Kedua peta anomali Bouguer yang mengacu pada sistim WGS 1984 adalah merupakan peta tematik yang sifatnya global berlaku di seluruh Dunia. Ketiga perlu dilakukan reduksi gravitasi dari sistim GRS 1967 ke WGS 1984. Dan keempat datum GRS 1967 merupakan datum relatif sehingga mendekati kondisi daerah setempat, sedangkan datum WGS 1984 merupakan datum geosentris yang sifatnya lebih ke regional.

KESIMPULAN

Penerapan sistim WGS-1984 merupakan datum global dimana penyimpangannya terhadap kondisi topografi setempat lebih besar dibanding dengan sistim GRS 1967 yang lebih mendekati kondisi topografi setempat, namun untuk perhitungan gravitasi normal relatif masih bisa diabaikan. Untuk memperoleh keseragaman gravitasi normal

transformasi koordinat antar kedua sistim tidak terlalu sulit dilakukan sehingga diupayakan keseragaman anomali gravitasi sistim datum lama dengan sistim anomali gravitasi baru yang bersifat lebih global tunggal. Pemetaan anomali gravitasi sistim WGS 1984 lebih gampang disambungkan dengan peta-peta sistim lainnya sehingga dengan mudah membuat sistim basis data anomali gravitasi yang tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adkins, J., Sukardi, S., Said, H., Untung, M. 1978. *A Regional Gravity Base Station Network for Indonesia*, Geological Survey of Indonesia, Direktorat Geologi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum Departemen Pertambangan dan Energi.
- Blakely, R.J., 1995. " *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*" Cambridge University Press.
- Chovitz, B. H., 1981. " *Modern geodetic earth reference models*" EOS, Transactions of the American Geophysical Union 62, 65-7.
- Geophysical Exploration Technology (GETECH), 1995. *South East Asia Gravity Project*, Technical Report, University of Leeds LS29JT, UK.
- Heiskanen W.A. and Moritz H., 1967 *Physical Geodesy*, Freeman & Co. San Fransisco..
- International Association of Geodesy, 1971. *Geodetic Reference System 1967*, Spec. Publ., 3, Bull. Geod., pp. 116.
- Kahar J., 1997. *World Geodetic System 1984*, Jurnal Surveying and Geodesy, hal. 76-81, Jurusan Teknik Geodesi – ITB.
- Kelompok Kerja Gayaberat, 1978. *Pedoman Pengumpulan dan Penyusunan Data Gayaberat di Indonesia*, Himpunan Akhli Geofisika Indonesia (HAGI) Bandung.
- Satriawan R. P., 1991. *Membandingkan Metoda-metoda Transformasi Tiga Dimensi Datum Geodesi*, Lokakarya Tata Koordinat dan Datum Acuan Datum Geodesi Indonesia, Bakosurtanal.
- Subarya C. dan Matindas R. W., 1995. *Datum Indonesia 1995 (DI-95) yang Geosentrik*, Bakosurtanal.
- Torge, W. 1980. *Geodesy*, Walter de Gruyter Berlin, New York, p.61–62.
- Tsубoi C., 1983, *Gravity*, George Allen and Unwin Ltd. London.