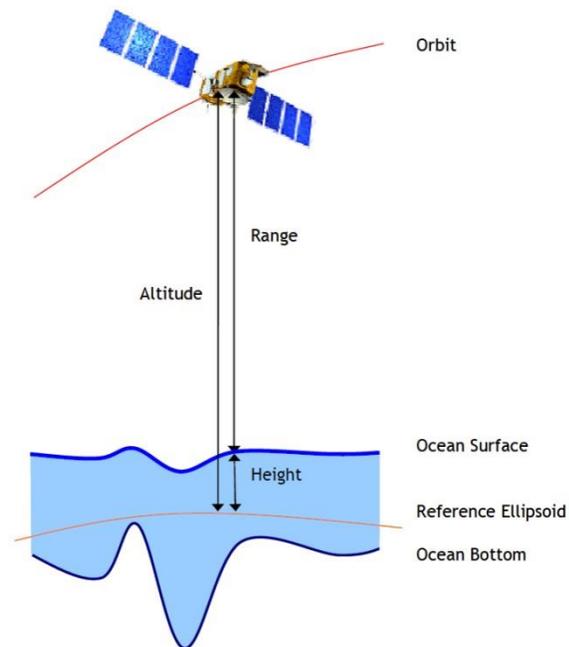


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem Pengukuran Satelit Altimetri

Satelit altimetri merupakan salah satu teknik untuk mengukur ketinggian di mana mengukur waktu yang dibutuhkan oleh pulsa radar dalam melakukan perjalanan dari antena satelit ke permukaan bumi dan kembali ke satelit.



Gambar 2.1 Prinsip pengukuran Satelit Altimetri  
Sumber: OSTM/Jason-2 Products Handbook

Data waktu yang diperoleh dikonversi menjadi data jarak di mana menghitung selisih antara waktu saat pulsa radar memancarkan gelombang elektromagnetik dan saat pengembalian gelombang elektromagnetik ke satelit. Pengkonversian ini diperlihatkan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta t = t_t - t_r$$

2.1

$\Delta t$  diperoleh dari ( $tt$ )selisih antara waktu saat mentransmisikan gelombang ( $s$ ) dan ( $tr$ ) waktu saat menerima gelombang ( $s$ ). Kemudian menggunakan persamaan untuk mendapatkan ketinggian satelit di atas permukaan laut atau disebut *range* ( $h$ ) [5]:

$$h = c \frac{\Delta t}{2} \quad 2.2$$

Di mana:

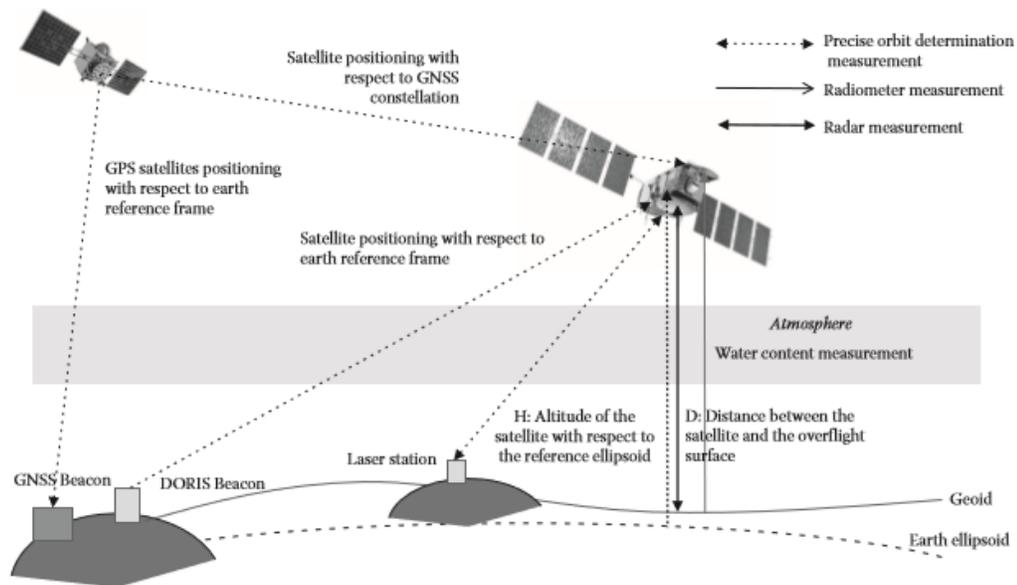
$h$  = jarak antara satelit dengan permukaan laut (m)

$c$  = kecepatan gelombang elektromagnetik (m)

$\Delta t$  = Selisih waktu saat pemancaran dan saat penerimaan sinyal.

Pengukuran ketinggian yang tersedia merupakan rata-rata dari semua ketinggian elementer di atas zona yang ukuran dan areanya tergantung pada karakteristik radar dan antena serta karakteristik permukaan *overflight*. Dalam setiap pengukuran radar memiliki ukuran khas zona yang dicakup beberapa kilometer di atas permukaan lautan. Cakupan ini akan lebih besar ketika *significant wave heights* (SWHs) lebih besar. Sedangkan di atas permukaan tanah, area yang diukur didorong oleh antena dan reflektifitas (koefisien hamburan balik) zona *overflight*. Pada satelit altimetri daya pemantulan air dan es jauh lebih besar dari pada daya pemantulan tanah. Ketika berbicara tentang ketinggian, maka perlu mendefinisikan referensi dengan tepat. Referensi utama, yang disediakan oleh sistem *Precute Orbit Determination* (POD), adalah ellipsoid Bumi. Saat referensi ini digunakan, sinyal yang lebih besar kemudian ditangkap dalam pengukuran topografi. Secara teori, kuantitas ini biasanya dikenal sebagai topografi dinamis absolut. Namun, meskipun ada kemajuan besar dalam pengukurannya, geoid belum diketahui pada skala pendek dengan akurasi yang cukup untuk penggunaannya. Oleh karena itu terdapat rujukan alternatif berdasarkan topografi

rata-rata laut (juga dikenal sebagai Mean Sea Surface atau MSS) yang dihitung selama beberapa tahun menggunakan data satelit altimetri. Dalam pengukuran SSH sering juga mengacu pada MSS dan dinyatakan sebagai anomali permukaan laut (SLA) atau anomali ketinggian permukaan laut (SSHA) [6].



Gambar 2.2 Prinsip pengukuran Radar Satelit Altimetri

Sumber: (Philippe Escudier, 2018)

Elemen pertama adalah perhitungan ketinggian, di mana dilakukan melalui POD, yang memerlukan kombinasi antara lain:

- Sistem referensi Bumi yang akan menjadi dasar pada Bumi untuk menghitung ketinggian
- Seperangkat sensor di atas satelit untuk menghitung dan memvalidasi POD
- Pemodelan gaya yang bekerja pada satelit untuk mendapatkan perkiraan optimal dari lintasan satelit

Untuk menghitung jarak antara satelit dan permukaan, terdapat instrumen utama yaitu radar *microwave* yang memancarkan gema. Gema ini bergerak melalui atmosfer dan dipantulkan kembali ke radar oleh permukaan. Kemudian radar

mengukur durasi waktu antara emisi dan penerimaan gema yang menyediakan jarak. Untuk membuat perhitungan ini, resolusi perangkat keras intrinsik dari radar terbatas, maka dari itu perlu membuat analisis penggabungan antara gema yang diukur dan pemodelan teoritis ketinggian permukaan laut (juga dikenal sebagai *Brown model*) untuk mendapatkan perkiraan jarak yang optimal. Kemudian, untuk membuat pengukuran topografi yang tepat, harus memperhitungkan elemen tambahan yaitu:

- Koreksi instrumental (penentuan posisi relatif antena, penundaan internal, dll.).
- Efek propagasi di atmosfer yang mungkin menimbulkan bias pada keterlambatan jalur radar, ini mendorong penggunaan peralatan tambahan di atas satelit (seperti contoh Radiometer untuk troposfer basah dan radar frekuensi ganda untuk ionosfer) serta data tambahan (bidang tekanan permukaan untuk troposfer kering).

Dalam pengukurannya satelit altimetri memiliki waktu peninjauan kembali satelit yaitu dalam urutan 10 hari atau lebih [6].

### **2.1.1 *Sea Surface Height***

Hasil perhitungan satelit altimetri terdiri dari dua kombinasi pengukuran, yang pertama adalah estimasi ketinggian satelit yang berhubungan dengan referensi bumi, sedangkan yang kedua adalah pengukuran jarak antara satelit dan permukaan yang ditargetkan [6]. Dengan mengurangi jarak ke ketinggian satelit, maka dapat diperoleh ketinggian yang diperlukan dari permukaan (SSH).

*Sea Surface Height* (SSH) merupakan tinggi muka laut pada titik pengukuran di atas bidang ellipsoid. Pada pengukurannya secara bersamaan menginformasikan mengenai pola pada sirkulasi umum laut di mana meliputi kontribusi dinamis dan variasi dalam geoid yang berhubungan dengan ellipsoid referensi [7]. Saat ini, hanya satelit altimetri yang mampu mengukur SSH di mana permukaan laut ditentukan pada skala global. Ketinggian permukaan laut relatif

terhadap geoid (keadaan rata-rata laut bumi pada saat diam) berasal dari pengukuran satelit altimetri. Pada penentuannya SSH dapat ditentukan seperti dalam rumus yang dituliskan sebagai berikut:

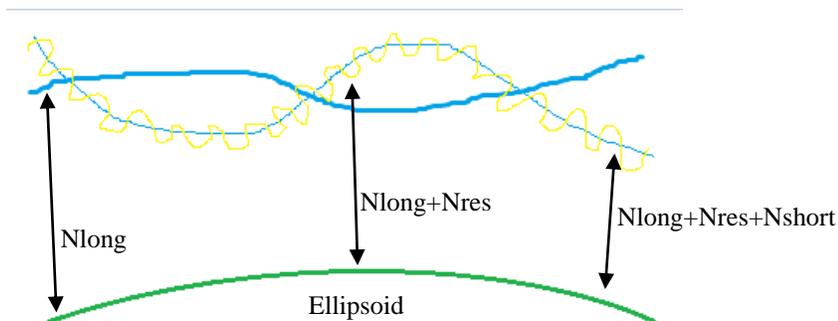
$$SH = Alt - h \quad 2.3$$

Di mana  $Alt$  merupakan estimasi ketinggian satelit berhubungan dengan referensi bumi yang telah terkoreksi dan  $h$  merupakan pengukuran jarak antara satelit dan permukaan yang ditargetkan. Adapun koreksi tersebut antara lain:

- a. Bias Ionosfer, di mana dipengaruhi oleh jumlah elektron bebas yang terdapat pada lapisan ionosfer.
- b. Bias Troposfer, terdapat 2 komponen didalamnya yaitu komponen basah (*dry*) dan komponen kering (*wet*) di mana memiliki pengaruh terhadap ketelitian tinggi.
- c. Karakteristik fisik yang bersifat dinamis seperti pasang surut laut (*ocean tide*), pasang surut pembebanan (*load tide*), pasang surut bumi padat (*solid earth tide*), pasang surut kutub (*pole tide*), pasang surut atmosfer (*inverse barometer*).

### 2.1.2 Gravity Anomaly (Anomali Gayaberat)

Anomali gayaberat merupakan perbedaan/selisih antara ukuran gayaberat di geoid dengan ukuran gayaberat normal pada permukaan ellipsoid [1]. Biasanya model anomali gayaberat didasari pada formula sederhana yang hanya berisikan garis lintang dan pengurangan dari gayaberat yang diamati di mana menghasilkan nilai anomali gayaberat. Nilai anomali ini jauh lebih kecil dari pada nilai gayaberat itu sendiri, karena kontribusi sebagian besar massa total bumi, rotasi dan perataannya telah dikurangi, dengan begitu anomali gayaberat menggambarkan variasi lokal dari medan gayaberat pada sekitar model [8].



Gambar 2.3 Ilustrasi Geoid Terhadap Elipsoid  
 Sumber: modifikasi dari jurnal Hartanto, 2018

$$N = N_{long} + N_{res} + N_{short} \quad 2.4$$

$$\Delta g = \Delta g_{long} + \Delta g_{res} + \Delta g_{short} \quad 2.5$$

Di mana:

- |             |  |                    |   |
|-------------|--|--------------------|---|
| $N$         | = undulasi geoid                       | $\Delta g$         | = anomali gayaberat                           |
| $N_{long}$  | = <i>long wavelength</i> komponen $N$  | $\Delta g_{long}$  | = <i>long wavelength</i> komponen $\Delta g$  |
| $N_{res}$   | = residual komponen $N$                | $\Delta g_{res}$   | = residual komponen $\Delta g$                |
| $N_{short}$ | = <i>short wavelength</i> komponen $N$ | $\Delta g_{short}$ | = <i>short wavelength</i> komponen $\Delta g$ |

Dalam pengolahannya menggunakan teknik *Remove Compute Restore* (RCR). RCR merupakan teknik yang berdasarkan pada pemisahan sinyal anomali gayaberat menjadi tiga komponen spektral yang berbeda yaitu *long wavelength*, *short wavelength*, dan bagian residual [9] [4]. Dalam memperoleh model geoid yang lebih realistis diperlukan penambahan tiga panjang gelombang undulasi ( $N$ ) yang berbeda di mana komponennya dihitung dari anomali gayaberat yang sesuai ( $\Delta g$ ) [1]. Prosesnya melakukan perhitungan geoid gradien sepanjang *track* jalur disepanjang lintasan, menghapus gradien referensi dari model geoid global dan menghapus *outlier*. Setelah itu menghitung anomali gayaberat residu, pada metode perhitungannya terdapat dua metode yaitu:

a. *Least-Square Collocation (LSC)*

Metode LSC ini digunakan untuk menghitung anomali gayaberat akhir dengan menjumlahkan anomali gayaberat residu yang dihitung dari model geoid referensi. Model geoid referensi ini memberikan nilai residual geoid gradien yang mana dikomputasi dan digunakan untuk menghitung anomali gayaberat residu yang dilakukan pada penelitian ini.

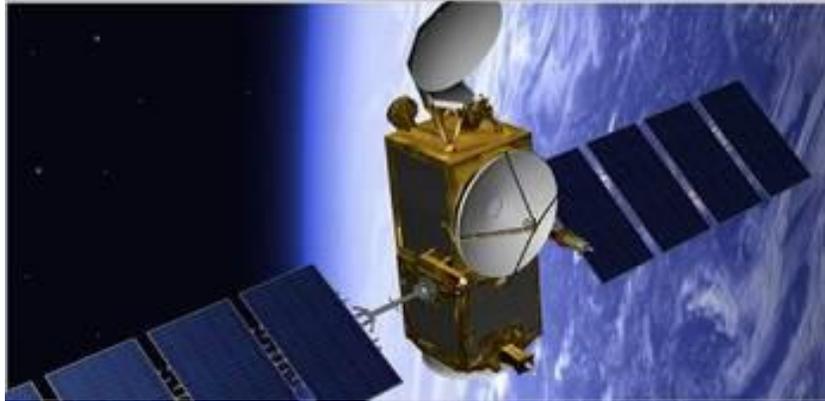
b. *Inverse Vening-Meinesz (IVM)*.

Metode ini dilakukan dengan menghitung anomali gayaberat dari nilai defleksi vertikal. Defleksi vertikal didefinisikan sebagai sudut spasial antara vektor gayaberat normal pada bidang elipsoid referensi dan vektor gayaberat di geoid.

Kemudian proses terakhir yaitu melakukan pengembalian anomali gayaberat dari model geoid global [4].

## **2.2. Satelit Jason-2 *Geodetic Mission***

Satelit altimetri Jason-2 *Geodetic Mission* merupakan satelit yang berfungsi untuk misi kelautan bersama dengan CNES / NASA Jason (atau Jason-1, yang diluncurkan pada 7 Desember 2001). Misi Jason-2 *Geodetic Mission* ini juga dapat dikatakan sebagai OSTM (*Ocean Topography Mission*) atau yang disebut dengan misi untuk topografi laut. Awalnya, NASA / JPL merencanakan OSTM dengan instrumen eksperimental baru yang menjanjikan dengan konfigurasi radar interferometrik (fitur tambahan untuk misi inti) disebut juga sebagai WSOA (*Wide Swath Ocean Altimeter*). Misi ini memiliki tujuan untuk menunjukkan topografi lautan lebih dari 200 km (sejajar dengan misi altimeter biasa). Namun, WSOA dibatalkan oleh NASA pada musim semi 2005. Oleh karena itu, misi Jason-2 di mana telah disetujui dan sedang dikembangkan pada tahun 2005 ini hanya akan terdiri dari konfigurasi misi inti [10].



Gambar 2.4 Visualisasi Satelit Altimetri Jason-2 *Geodetic Mission*  
Sumber: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/current-missions/jason-2.html>

Tujuan Jason-2 *Geodetic Mission* adalah untuk memperpanjang rangkaian waktu pengukuran topografi permukaan laut, antara lain:

- a. Memperoleh catatan pengamatan yang berkelanjutan (dengan misi sebelumnya).
- b. Menentukan variabilitas sirkulasi laut pada skala waktu dari catatan data gabungan dengan T / P dan Jason.
- c. Meningkatkan ukuran sirkulasi laut rata-rata waktu.
- d. Meningkatkan ukuran perubahan permukaan laut global.
- e. Memperbaiki model pasang surut laut terbuka.

Misi ini membutuhkan ketepatan pengukuran yang sama dengan Jason 1 (3,3 cm) dengan tujuan mencapai 2,5 cm, dan untuk menjaga stabilitas pengukuran permukaan laut rata-rata global dengan arus kurang dari 1 mm/tahun selama masa satelit digunakan. Misi Jason-2 *Geodetic Mission* memiliki massa peluncuran sekitar 550kg dengan masa waktu desain sekitar 5 tahun. Peluncuran Jason-2 *Geodetic Mission* berlangsung pada 20 Juni 2008 dengan meluncurkan Delta-2-7320-10 dari VAFB, Ca, USA di mana menyediakan peluncuran yaitu ULA (*United Launch Alliance*). Jason-2 *Geodetic Mission* mengorbit dengan ketinggian 1.336 km untuk periode 2 jam, kemiringan  $66,038^\circ$ , *repeat orbits* 9,9 hari (127 putaran), pengulangan *ground track*  $\pm 1$  km *cross-track* di atas khatulistiwa. Spesifikasi rinci mengenai satelit Jason-2 akan dijelaskan pada Tabel 2.1 sebagai

berikut. [11]

Tabel 2.1 Spesifikasi Satelit Altimetri Jason-2 *Geodetic Mission*

Tanggal Peluncuran	20 Juni 2008
<i>Altitude</i>	1.336 km
Inklinasi	66.038 °
<i>repeat orbits</i>	9.9156 hari
<i>Agency</i>	Cnes/Nasa/Eumetsat/Noaa
Instrumen	Poseidon-3 altimeter, AMR radiometer, DORIS, LRA, GPSP, T2L2, Carmen-2, LPT
Lama misi	20 tahun
Jarak antar lintasan	315 Km di ekuator
Jarak antar titik pengukuran	5 km
Fase <i>Ascending</i>	66,15° LS - 66,15° LU
Fase <i>Descending</i>	66,15° LU - 66,15° LS

Dari 2008 hingga Oktober 2016, Jason-2 *Geodetic Mission* terletak di orbit nominalnya. Dari Oktober 2016 (pada akhir siklus 303 hingga siklus 327), setelah lebih dari 8 tahun layanan pada *ground track*, Jason-2 *Geodetic Mission* bergerak cepat ke orbit yang disisipkan di mana juga digunakan oleh Topex dari 2002-2005 dan Jason- 1 dari tahun 2009-2012. Sejak Juli 2017 (siklus awal 500), Jason-2 *Geodetic Mission* beroperasi pada orbit *long-repeat* (LRO) baru di ketinggian sekitar 1309,5 km. Juli 2018 (siklus awal 600), Jason-2 *Geodetic Mission* beroperasi pada orbit *long-repeat* yang disisipkan (i-LRO), untuk siklus geodetik kedua, pada *groun track* di tengah grid yang ditentukan oleh siklus geodetik pertama [12].

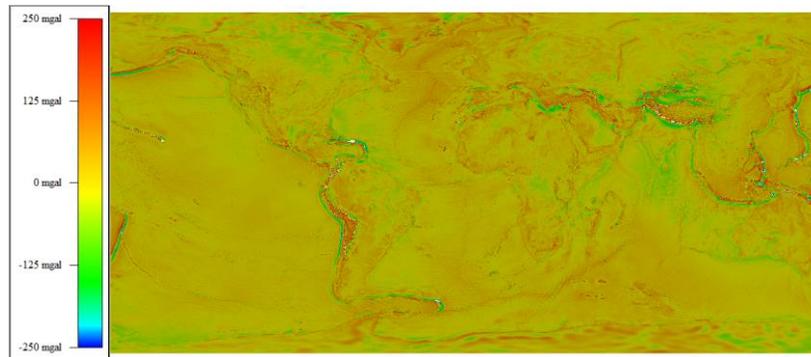
Satelit Jason-2 *Geodetic Mission* memiliki lima buah sensor yang terdiri dari *Poseidon-3 Altimeter* (berfungsi untuk mengukur jarak satelit dari permukaan

bumi, tinggi gelombang dan kecepatan angin), *Jason-2 Advance Microwave Radiometer* (AMR) (berfungsi untuk menentukan gangguan yang terjadi pada atmosfer), *Dual-frequency Doppler Orbitography and Radiopositioning Satellite* (DORIS) (berfungsi untuk mengetahui posisi satelit *realtime* dan menghitung kandungan elektron pada atmosfer), *Laser Retroreflector Array* (LRA) (berfungsi untuk mendukung sistem dalam penentuan lokasi pada DORIS dan TRSR) dan *Turbo Rogue Space Receiver* (TRSR) (berfungsi untuk menentukan ketepatan satelit pada orbitnya dan memperbaiki model medan gayaberat) [10].

Selama sembilan tahun terakhir, *Jason-2 Geodetic Mission* dengan baik telah mengukur ketinggian 95% laut bebas dunia setiap 10 hari. Sejak diluncurkan pada Juni 2008, satelit *Jason-2 Geodetic Mission* telah mengukur peningkatan mencapai 4 cm di permukaan laut rata-rata global, yang telah meningkat pada tingkat sekitar 3 mm per tahun sejak catatan altimetri satelit dimulai pada tahun 1993. satelit *Jason-2* juga telah melacak perubahan permukaan laut regional, memantau kecepatan dan arah arus permukaan laut, kemudian memungkinkan untuk pengukuran prakiraan cuaca, laut, dan iklim yang lebih akurat, juga mengamati beberapa peristiwa El Nino dan La Nino [12].

### **2.3. Marine Gravity Model (Sandwell's Model)**

*Sandwell's model* pada penelitian ini merupakan model anomali gayaberat hasil dari pengkombinasian antara radar altimetri CryoSat-2 dan Jason-1 pada tahun 2014 yang dikembangkan pada tahun 2019 dengan menambahkan beberapa satelit baru yaitu satelit altimetri Jason-2, Altika dan Sentinel-3A/B. Model ini dibentuk untuk membangun model anomali gayaberat laut yang dua kali lebih akurat dari model sebelumnya yaitu dari satelit altimetri Geosat dan ERS-1. Misi pertama yang dilakukan pada tahun 1993 di mana David T. Sandwell dan Walter H. F. Smith meluncurkan model gayaberat pertama kali melalui satelit altimetri dengan resolusi 10 km [13].



Gambar 2.5 Visualisasi Sandwell Model versi 29 Global

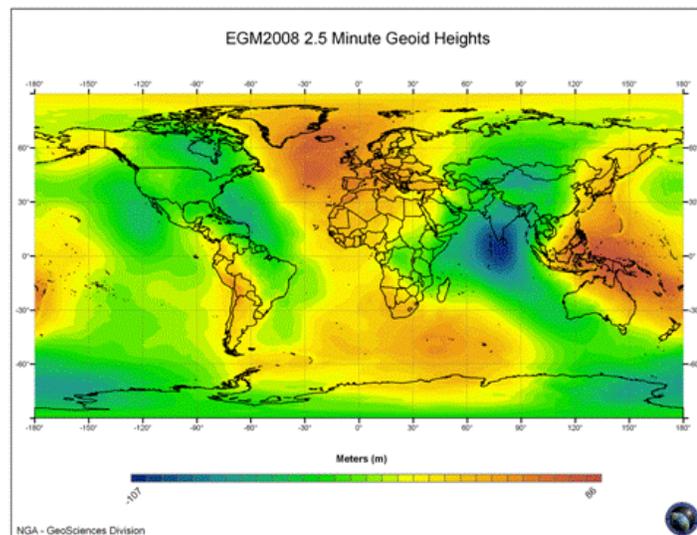
Tahun 1997 David T. Sandwell dan Walter H. F. Smith memfokuskan untuk meng*upgrade* mengenai efisiensi anomali gayaberat dan turunannya di mana melakukan komparasi data dengan hasil pengukuran anomali gayaberat menggunakan kapal. Hasil masing–masing model anomali gayaberat menunjukkan perbedaan rms sekitar 3-6 mgal [14]. Kemudian misi kedua menghasilkan model anomali gayaberat kombinasi dengan radar altimetri CryoSat-2 dan Jason-1 pada tahun 2014. Model ini menghasilkan anomali gayaberat yang lebih akurat di mana hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui proses pembentukan tektonik dasar laut. Setiap tahunnya model anomali gayaberat ini selalu di*upgrade* dengan data baru hingga November 2019, model ini ditambah dengan satelit altimetri Jason-2, Altika dan Sentinel-3A/B pada versi terbarunya.

Keakuratan *gravity-field* yang dihasilkan dari satelit altimetri tergantung pada tiga faktor utama yaitu kerapatan lintasan spasial, orientasi *track* yang beragam, dan *range* yang presisi. Ketiga faktor ini telah tersedia pada beberapa satelit altimetri baru dengan ditambah data model lama yaitu Geosat dan ERS-1 di mana menghasilkan peningkatan data yang jauh lebih akurat. Teknologi radar terbaru altimetri menghasilkan peningkatan sekitar 5 kalilipat dalam rentang resolusi peningkatan medan gayaberat. Versi model Sandwell yang terbaru saat ini memiliki akurasi sekitar 2mgal di mana cakupannya merata tersedia di semua wilayah laut dan perairan. Pada skala yang lebih kecil dari 200 km, variasi

gayaberat laut mencerminkan topografi dasar laut yang dihasilkan oleh lempeng tektonik seperti punggung dan bukit *abyssal* yang mana telah dipetakan secara lebih rinci menggunakan model ini melalui penelitian yang dilakukan oleh David T. Sandwell, dan lainnya [14].

#### 2.4 Earth Gravitational Model (EGM 2008)

Geoid Global *Earth Gravitational Model* 2008 (EGM 2008) merupakan model geopotensial bumi yang terdiri dari harmonik spheris di mana dapat digunakan untuk menentukan undulasi geoid. EGM2008 memiliki informasi anomali gayaberat *free-air* dengan grid 2,5 menit. Grid tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat dari *airborne*. EGM2008 resmi telah dipublikasikan untuk umum oleh Tim Pengembangan EGM *National Geospatial Agency* (NGA) AS. Model ini lengkap dengan sperikal harmonik derajat dan *order* 2159, di mana berisi koefisien tambahan yang meluas hingga derajat 2190 [15].



Gambar 2.6 Visualisasi *Earth Gravitational Model* 2008 Dunia  
Sumber: *National Geospatial Agency* (NGA) AS

Sebelum dibentuk EGM2008 terdapat dua EGM lainnya yaitu EGM84 diterbitkan pada tahun 1984 dengan  $n = m = 180$ , EGM96 yang diterbitkan pada tahun 1996 di mana digunakan sebagai referensi geoid dari *World Geodetic System* dengan  $n = m = 360$ , dan EGM2008 dengan  $n = m = 2160$ .  $N$  dan  $m$  merupakan derajat dan *order* koefisien harmonik, semakin tinggi nilainya maka semakin banyak parameter dan semakin tepat nilai yang dimiliki oleh model. Terdapat dua koefisien sferikal harmonik yang diperoleh dari file *Zeta to N\_EGM2008* dan data *Coef height & Depth\_DTM2006* [16]. Pada *Zeta to N\_EGM2008* merupakan model koreksi yang dinormalisasikan dari data ketinggian anomali undulasi geoid yang dijadikan sebagai komponen *long-wavelength* dalam perhitungan. *Coef height & Depth\_DTM2006* berisikan data elevasi bumi di mana berisikan koefisien sferikal harmonik dan data ketinggian elevasi bumi yang dijadikan sebagai komponen gelombang *short-wavelength* pada perhitungan. Data EGM2008 digunakan untuk menghitung nilai undulasi geoid berkenaan dengan WGS 84, dalam penggunaannya dapat dilakukan dengan menggunakan kumpulan file koefisien, perangkat lunak FORTRAN, dan grid geoid pra-komputasi. Konstanta WGS 84 yang digunakan untuk mendefinisikan elipsoid referensi, dan medan gayaberat normal yang terkait [17]. EGM 2008 ini terletak pada -250 mgal hingga 250 mgal di mana untuk nilai undulasi geoidnya terletak pada -80 m hingga 100 m. EGM 2008 ini digunakan dalam penelitian karena merupakan model geoid referensi yang paling cocok diterapkan di Indonesia [18].

## **2.5 Least Square Collocation (LSC)**

*Least-squares collocation* (LSC) dikembangkan pada tahun 1960-an berdasarkan kemajuan teoretis oleh T. Krarup (1969) dan Helmut Moritz (1965,1980) untuk mengoptimalkan pada perhitungan interpolasi medan gayaberat, prediksi, dan lainnya [19]. LSC biasa digunakan untuk data grid dengan memprediksi pada area sekitar data di mana pendekatan yang digunakan (pendekatan statistik/stokastik) menghubungkan data satu dengan data lainnya yang secara teoritis hasilnya harus sama.

LSC adalah salah satu metode penting untuk solusi persamaan *diferensial parsial* dalam penentuan potensi anomali gayaberat. Perbedaan  $T = W - U$  dilambangkan dengan potensi anomali gayaberat. Dengan  $W$  merupakan potensi gayaberat dan  $U$  adalah potensi referensi yang sesuai mencakup potensi sentrifugal yang sama dengan  $W$ . Oleh karena itu menjadi fungsi harmonis, di mana terintegrasi dengan persamaan ketinggian di Bumi. Penentuan ini dengan demikian setara dengan solusi dari persamaan *diferensial partial* [20]. LSC juga dapat dikatakan sebagai metode di mana menggunakan asumsi tentang seberapa besar korelasi kuantitas data yang digunakan diluar dari standar kesalahan pada pengukuran, tujuannya untuk memprediksi dan menyaring anomali gayaberat dari perhitungan gayaberat normal [21].

Metode ini dapat digunakan untuk penentuan perkiraan parameter terkait seperti bias atau kemiringan, kebisingan acak atau berkorelasi juga dapat diperhitungkan. Semua medan gayaberat yang dapat diamati yang mungkin terkait dengan fungsional linier dapat diprediksi dan estimasi kesalahan dapat dihitung. Contohnya adalah anomali gayaberat, anomali ketinggian, definisi vertikal, *gravity gradient*, dan koefisien seri harmonik bola [20].

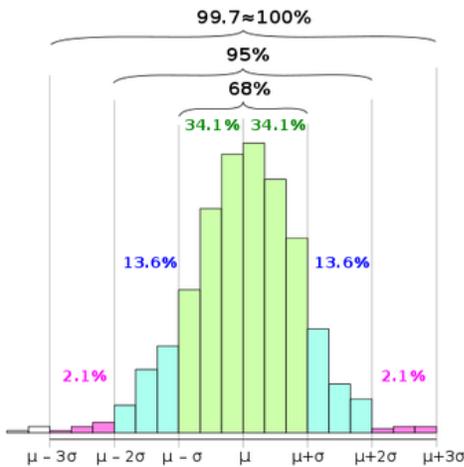
Konvergensi metode ini telah terbukti dalam situasi ideal untuk meningkatkan jumlah data yang terdistribusi secara global pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Tscherning pada tahun 1978. Persamaan observasi dasar untuk LSC adalah:

$$y_i = L_i(T_{LSC}) + e_i + A^T_i X \quad 2.6$$

di mana  $y$  adalah bagian dari pengamatan,  $L_i$  adalah bagian dari fungsi yang terkait dengan pengamatan, misalnya vektor kesalahan,  $X$  adalah vektor- $m$  dari parameter, dan  $A^T$  adalah matriks  $n \times m$  yang menghubungkan  $n$  pengamatan dan vektor- $m$  parameter. Pada perhitungan ini kontribusi dari transformasi datum kontingen dan *Earth Gravity Model* ( $U$ ) harus dikurangi yang mana merupakan variabel stokastik dengan varian terbatas dalam proses stokastik [20].

## 2.6 Metode Uji Akurasi Selang Kepercayaan 95%

Selang kepercayaan (*Confidence interval*) adalah sebuah indikator presisi pengukuran di mana digunakan untuk menemukan hubungan antara dua variabel dengan menentukan garis tren [22]. Metode ini juga digunakan untuk memperlihatkan seberapa stabil perkiraan dan seberapa dekat pengukuran terhadap sebuah data terhadap data lainnya.



Gambar 2.7 *Empirical Rule Histogram*  
Sumber: Wikipedia.org

Dalam statistik aturan ini juga dikenal sebagai aturan empiris di mana digunakan untuk mengingat presentase nilai yang terletak di dalam sebuah band di sekitar rata-rata dalam distribusi normal dengan lebar empat standar penyimpangan yang mana nilainya terletak di dalam dua standar deviasi rata-rata. Dalam rumus matematika, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Pr(\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) \approx 0,9545 \quad 2.7$$

Di mana  $X$  merupakan pengamatan dari variabel acak berdistribusi normal,  $\mu$  merupakan rata-rata distribusi dan  $\sigma$  merupakan standar deviasinya. Rumus ini memperlihatkan bahwa semua nilai dianggap berada dalam standar deviasi rata-rata dengan demikian secara empiris berguna untuk memperlakukan 95% mendekati kepastian.