

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Sebagaimana yang tercantum dalam diagram alir penelitian gambar 1.2, dimana penelitian ini menggunakan data orbit dan data satelit altimetri *Cryosat 2 geodetic mission* tipe *Geophysical pole-to-pole level 2 (GOP P2P)* sebagai data utama penelitian. Selanjutnya data *EGM 08* yang digunakan untuk pemodelan medan gayaberat, dan data *ETOPO1* yang digunakan sebagai data untuk pemodelan batimetri. Berikutnya adalah *data Multibeam ecosounder* yang digunakan sebagai data validasi dari hasil pemodelan batimetri tersebut.

a. Data Orbit Satelit Altimetri *Cryosat 2*

Orbit satelit *cryosat-2* diunduh pada salah satu *website* resmi penyedia data satelit altimetri *cryosat-2* yaitu *European Space Agency* yang dapat diakses pada alamat web <ftp://calval-pds.cryosat.esa.int/> dalam format *.KMZ file* dan bentuk *.txt file*, format ini dapat dibuka di *Google Earth*. Pemilihan orbit ini disesuaikan terhadap *area of interest* dari penelitian ini yaitu laut bagian barat pulau sumatera yang terdiri dari 50 orbit yang mana spacing antar orbit adalah 7.2 kilometer. Informasi mengenai data orbit dijelaskan pada tabel 1.1. Orbit yang digunakan pada penelitian ini berjenis *ascending* dan *descending*. *Ascending* adalah lintasan satelit yang terbentuk saat satelit bergerak dari bagian selatan bumi dan menuju bagian utara bumi, begitu juga *descending* merupakan suatu lintasan satelit yang terbentuk saat satelit bergerak dari bagian utara bumi menuju bagian selatan bumi.

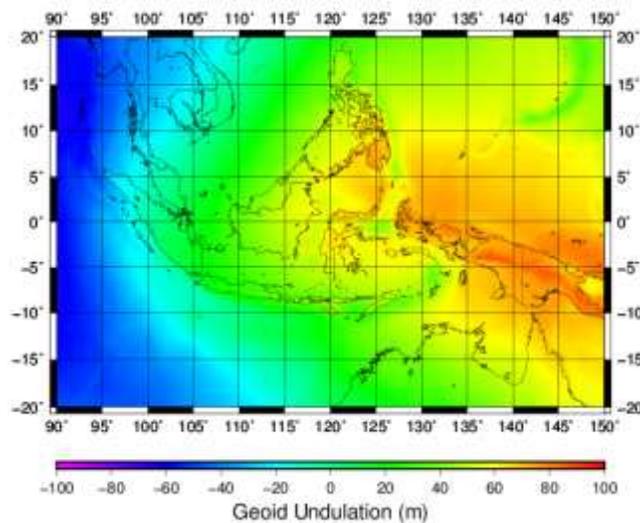
b. Data Satelit Altimetri *Cryosat 2 GOP P2P*

Data satelit altimetri *cryosat 2 GOP P2P* diperoleh dari salah satu *website* resmi penyedia data satelit altimetri *cryosat 2* yaitu *European Space Agency* yang dapat diakses pada alamat web ftp://science-pds.cryosat.esa.int/SIR_GOP_P2P/ dalam format *.NetCDF file*, dimana seluruh data ini diolah menggunakan software *ARCGIS*

untuk mengubah *export* format data *.NetCDF.file* menjadi *.txt file* yang kemudian diolah menjadi data *sea surface height* menggunakan *Microsoft Excel*. Untuk data satelit altimetri *cryosat 2* yang digunakan menggunakan data *Geophysical pole-to-pole level 2 (GOP P2P)* dengan rentang waktu 4 tahun yang dijelaskan pada tabel 1.1.

c. Data *Earth Gravitational Model (EGM) 2008*

Data *EGM2008* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *National Geospatial Agency (NGA)*. Data *EGM2008* terdiri atas beberapa data yang nantinya digunakan dalam penentuan *geoid undulation model* dan model medan gayaberat. Data tersebut terdiri dari *coeff_height_and_depth_to2190_DTM 2008 .file*, *egm 2008 .file*, *egm_to 2190_tidefree .file*, dan *Zeta-to-N_to 2160_egm 2008 .file*. Yang nantinya diproses menggunakan *file harmonic_synth_v03.exe* pada *command prompt*. Data ini divisualisasikan pada gambar 3.1.

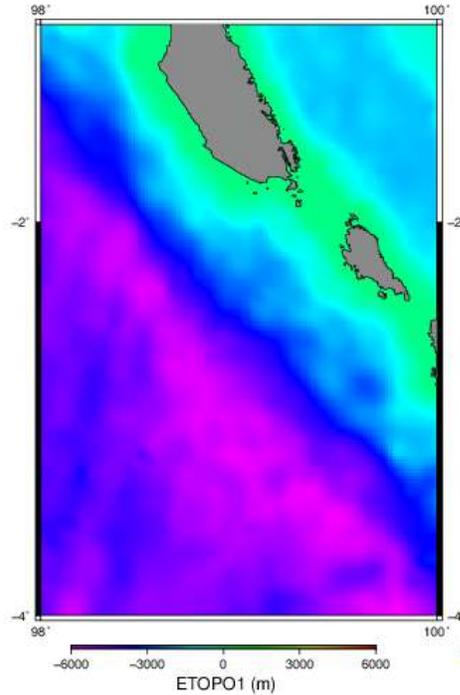


Gambar 3.1 Geoid Undulasi EGM2008 Indonesia

d. Data *ETOPO1*

Data *ETOPO1* yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang diperoleh dari website open source *National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)*. Data ini mencakup seluruh wilayah Indonesia dengan resolusi 1 menit dan dalam format *.grd.file*. Data ini adalah model elevasi digital global (*DEM*) dari permukaan bumi yang

mencakup topografi daratan dan batimetri laut. Model elevasi digital global ini nantinya digunakan sebagai data untuk memperoleh batimetri yang diperoleh dari medan gayaberat yang diolah sebelumnya menggunakan data *sea surface height*. Model visualisasi ETOPO1 dijelaskan pada gambar 3.2

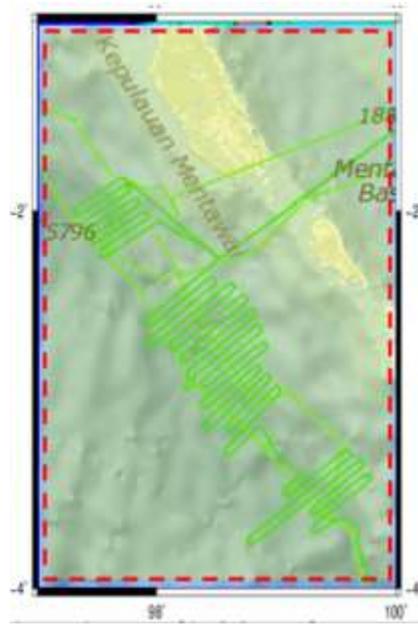


Gambar 3.2 Model ETOPO1 Wilayah Laut Bagian Barat Pulau Sumatera

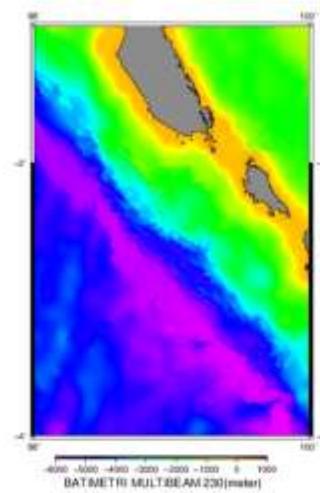
e. Data *Multibeam Echosounder* Resolusi 230 Meter

Data *Multibeam Echosounder* diperoleh dari situs resmi yaitu *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* yang dapat di akses pada situs <https://www.ngdc.noaa.gov/maps/autogrid/> dalam format *.txt.file*. Data yang diperoleh adalah data *Multibeam Echosounder* Kongsberg EM302 dan EM710 yang sudah *auto grid* atau terkoreksi. Rentang waktu pengambilan data sounding tersebut adalah 1 bulan, yang dilakukan pada 23 mei 2015 sampai 22 juni 2015. Data *Multibeam Echosounder* ini memiliki resolusi spasial sebesar 230 meter, namun dilakukan penurunan resolusi menjadi 5 menit atau 9.25 kilometer, dimana tujuannya adalah untuk menyetarakan resolusi estimasi batimetri *Multibeam Echosounder* dengan

estimasi batimetri dari satelit altimetri *Cryosat-2*. Data tersebut divisualisasikan pada gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.3 Peta Cakupan Multibeam Echosounder

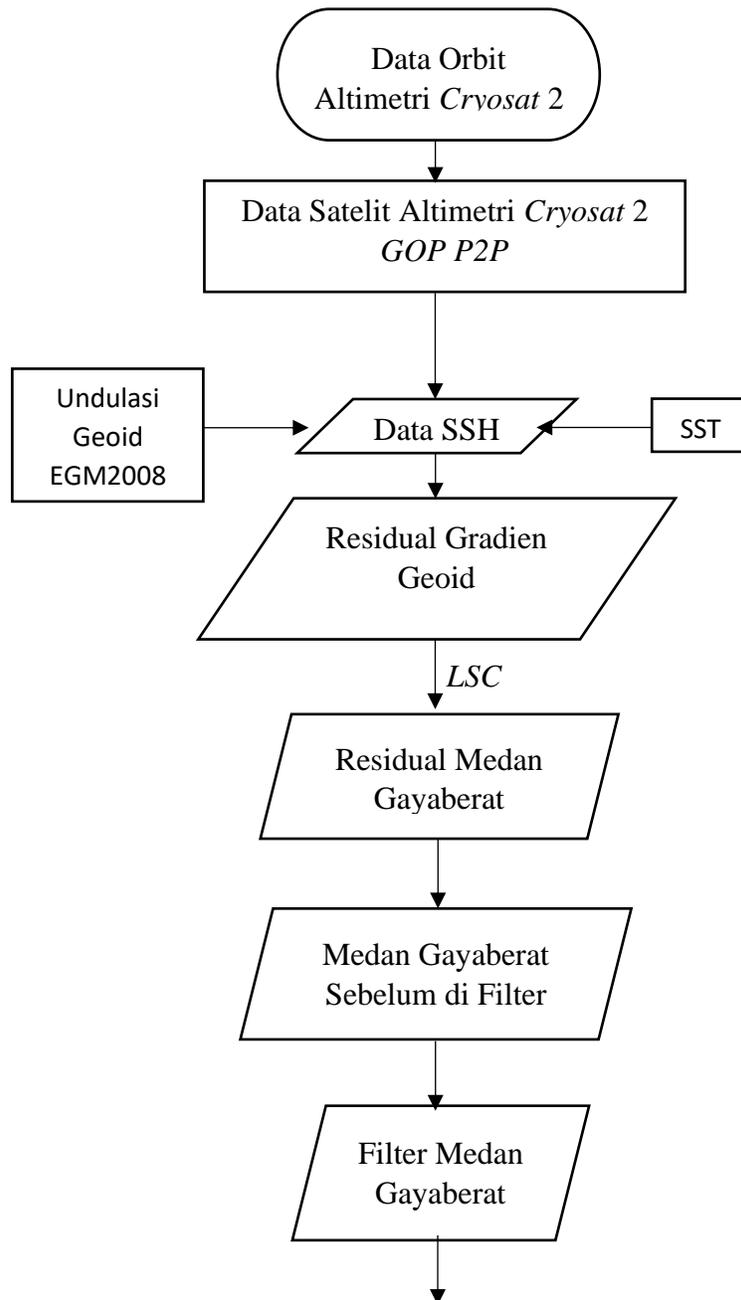


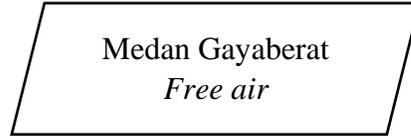
Gambar 3.4 Batimetri hasil Auto Grid yang diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)

3.2 Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh pada subbab 3.1 selanjutnya dilakukan pengolahan data. Bentuk pengolahan data dalam penelitian ini secara garis besar terdiri dari pengolahan medan gayaberat *free air*, dan pengolahan medan gayaberat *free air* menjadi batimetri. Proses pengolahan data ditunjukkan pada gambar 3.3 dan 3.4 dibawah ini.

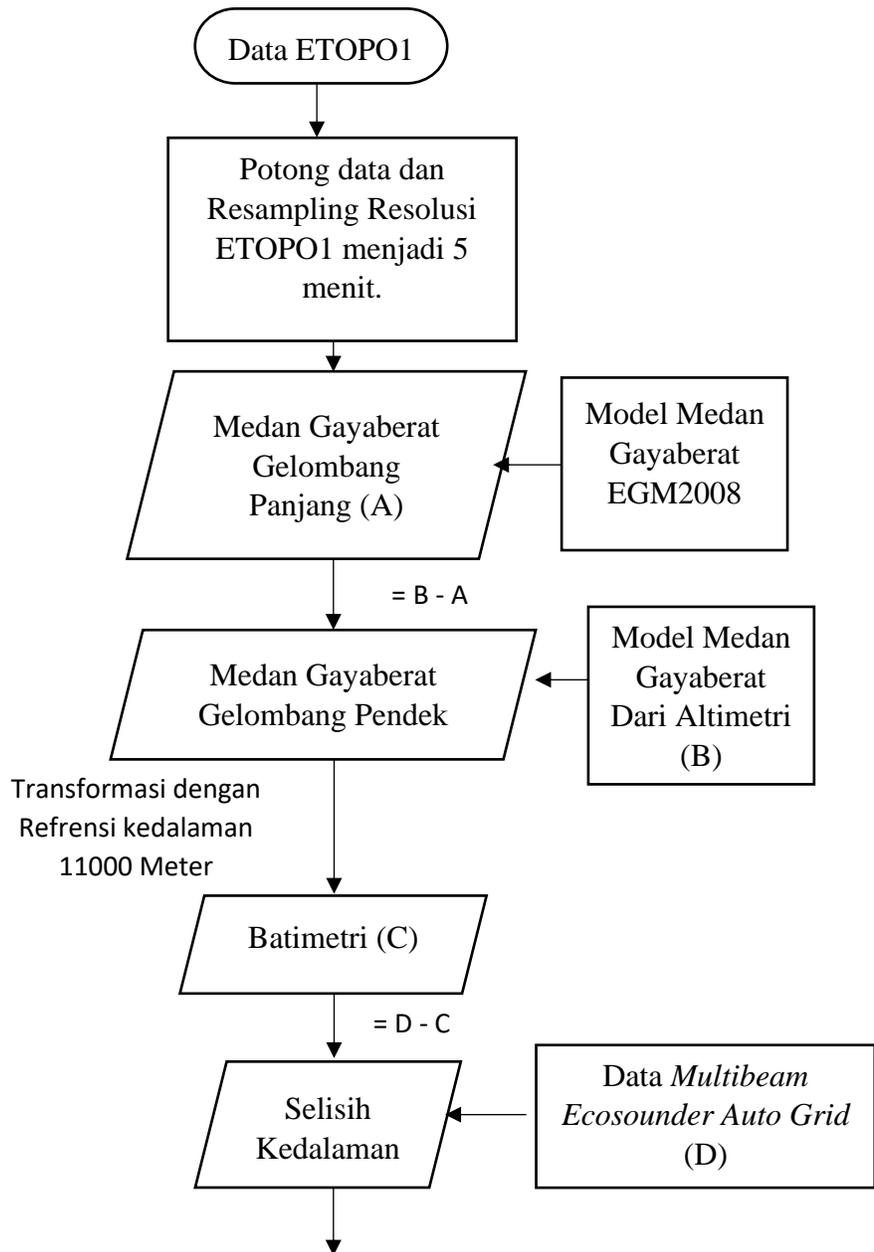
A. Pengolahan Medan Gaya Berat

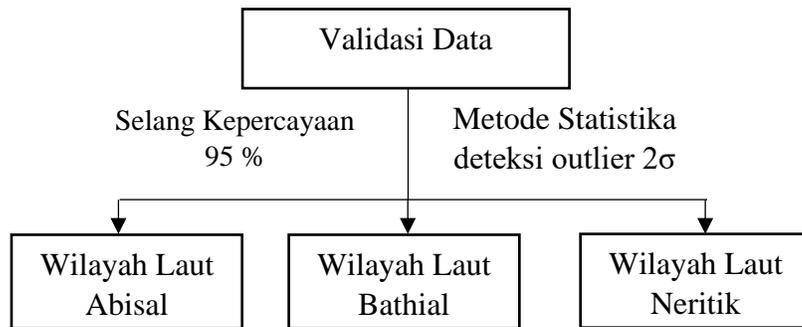




Gambar 3.5 Diagram Pengolahan Medan Gayaberat

B. Pemodelan Medan Gaya Berat Menjadi Batimetri





Gambar 3.6 Diagram Pengolahan Medan Gayaberat Menjadi Batimetri

3.2.1 Pengolahan Gravity Anomali

Pada dasarnya pengolahan medan gayaberat ini bertujuan untuk memperoleh perbedaan yang terjadi antara medan gayaberat terhadap geoid dan medan gayaberat terhadap ellipsoid [28]. Pengolahan ini membutuhkan beberapa variabel dalam perhitungannya, dimana variabel tersebut terdiri dari *sea surface height*, residual gradien geoid, dan residual gravity anomaly. Proses pengolahan variabel-variabel tersebut dijelaskan seperti berikut :

a. Pengolahan Data *Sea Surface Height*

Pengolahan ini merupakan tahap awal dalam pengolahan medan gayaberat menggunakan data satelit altimetri. Pada pengolahan ini terdapat beberapa variabel yang digunakan untuk memperoleh nilai *sea surface height* yang dijelaskan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel data *GOP P2P*

No	Nama	Deskripsi
1	<i>lat_01</i>	Latitude pada 1Hz
2	<i>lon_01</i>	Longitude pada 1Hz
3	<i>range_ocean_01_ku</i>	Rentang lautan yang di amati
4	<i>sea_state_bias_01_ku</i>	Koreksi empiris terhadap gelombang signifikan
5	<i>iono_corr_gim_01</i>	Dilakukan untuk memperbaiki keterlambatan pulsa radar yang disebabkan oleh elektron bebas dan ionosfer
6	<i>mod_dry_tropo_cor_01</i>	Dilakukan untuk memperbaiki keterlambatan pulsa radar yang disebabkan oleh gas kering di atmosfer
7	<i>mod_wet_tropo_cor_01</i>	Dilakukan untuk memperbaiki keterlambatan pulsa radar yang disebabkan oleh komponen H ₂ O di atmosfer
8	<i>solid_earth_tide_01</i>	Untuk menghilangkan distorsi pasang surut lokal pada kerak bumi
9	<i>alt_01</i>	Tingkat ketinggian sesaat berubah seiring waktu
10	<i>ocean_tide_soll_01</i>	Untuk menghilangkan distorsi terhadap kerak bumi yang disebabkan oleh meningkatnya berat lautan saat air pasang naik
11	<i>pole_tide_01, dan</i>	Untuk menghilangkan distorsi terhadap pasang surut laut

12	<i>inv_bar_cor_01.</i>	Untuk menghilangkan tekanan terhadap permukaan laut yang di sebabkan barometer lokal
----	------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Tahapan pengolahan *sea surface height* dilakukan sebagai berikut :

- 1) Melakukan proses convert data *cryosat 2 GOP P2P* dengan format *.NetCDF.file* menjadi data dengan format *.txt.file*. Dalam proses *convert* tersebut dilakukan seleksi variabel-variabel yang dibutuhkan untuk pengolahan *sea surface height* dijelaskan pada tabel 3.1.
- 2) Variabel-variabel yang ada kemudian diproses menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 seperti berikut:

$$CR = (range_ocean_01_ku) - (sea_state_bias_01_ku (iono_corr_gim_01) - (mod_dry_tropo_cor_01) - (mod_wet_tropo_cor_01)) \quad (3.1)$$

$$SSH = (alt_01) - (CR) - (solid_earth_tide_01) - (ocean_tide_sol1_01) - (pole_tide_01) - (inv_bar_cor_01) \quad (3.2)$$

- 3) Nilai *sea surface height (SSH)* yang diperoleh nantinya akan dikonversi untuk memperoleh model medan gayaberat pada tahap berikutnya

b. Pengolahan Residual Gradien Geoid

Nilai *sea surface high* yang sudah diperoleh kemudian diolah terhadap data *geoid undulation model EGM08* dan *sea surface topografi (SST)* dengan menggunakan *threshold 25%*. Pengolahan ini bertujuan untuk menghapus refrensi geoid dan menghitung residual sepanjang jalur. Nilai *residual gradient geoid* diperoleh dengan menggunakan pendekatan statistik *Spherical* formula. Dimana data yang nantinya ingin diperoleh adalah gradien geoid, azimuth dari gradien geoid, dan standar deviasi

dari geoid gradien [29]. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data- data tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Nilai residual gradien geoid dan nilai azimuth gradien diawali dengan menghitung rata-rata radius gauss pada rata-rata latitude [20][21]. Untuk menghitung rata-rata latitude dengan persamaan 3.3 berikut ini :

$$\text{Lat rata-rata} = (\text{lat} (i) + \text{lat} (i-1)) \times 0.5 \times 0.017453292 \quad (3.3)$$

Dimana nilai 0.017453292 rad. adalah nilai 1 derajat saat dikonfirmasi menjadi radian.

Pada tahap ini latitude dan longitude dikonversi menjadi bentuk radian [20][21]. Proses perhitungan ini dijelaskan pada persamaan 3.4 dan 3.5 berikut:

$$\text{Lat} = (\text{lat} (i) - \text{lat} (i-1)) \times 0.017453292 \quad (3.4)$$

$$\text{Lon} = (\text{lon} (i) - \text{lon} (i-1)) \times \cos (\text{Lat rata-rata}) \times 0.017453292 \quad (3.5)$$

Berikutnya adalah menghitung gradien geoid dengan menggunakan pendekatan formula *spherical distance* [20][21]. Proses ini dijelaskan pada persamaan 3.6 berikut :

$$\text{Sperical Distance} = ((\text{lat}^2 + \text{lon}^2) \times (6371000 \text{ meter}))^{1/2} \quad (3.6)$$

Proses terakhir adalah menghitung azimuth gradien geoid [14]. Perhitungan ini dijelaskan pada persamaan 3.7 berikut :

$$\text{Az} (i-1) = \arctan (\text{lon} , \text{lat}) \quad (3.7)$$

- 2) Proses perhitungan standar deviasi dari gradien geoid dijelaskan pada persamaan 3.8 seperti berikut :

$$\text{Gstd} (k) = \frac{((\text{err} (i+1))^2 + \text{err} (i)^2)^{1/2}}{\text{Diff} \times \rho} \quad (3.8)$$

Dimana G_{std} adalah standar deviasi dari geoid gradien, err adalah standar deviasi dari panjang *track sea surface height*, $Diff$ adalah panjang track, i adalah banyak jumlah data err , dan ρ adalah nilai 206264.8062 [20][21]. Script dan tahap pengolahan ini dapat dilihat pada lampiran A.

c. Pengolahan Data Residual Medan Gayaberat (LSC)

Pada pengolahan ini menggunakan nilai dari residual gradien geoid, dimana nilai dari residual gradien geoid digunakan untuk memperoleh nilai residual medan gayaberat. Pada perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan metode *least square collocation (LSC)*. Proses perhitungan untuk memperoleh nilai dari residual medan gayaberat dijelaskan pada persamaan 2.7.

Dalam proses penentuan nilai medan gayaberat dibutuhkan 3 komponen utama yang terdiri dari gelombang pendek yaitu hasil pengukuran secara langsung yang dalam penelitian ini menggunakan data altimetri yang diolah menjadi data *sea surface height*, gelombang panjang yaitu model medan gayaberat, dan yang terakhir adalah gelombang menengah hasil kalkulasi komponen gelombang pendek dan panjang. Komponen-komponen tersebut kalkulasi dengan pendekatan matematis dimana hasil dari proses tersebut kemudian akan menghasilkan nilai medan gayaberat *free air*. Script dan tahap pengolahan ini dapat dilihat pada lampiran A.

d. Filtering Medan Gayaberat

Nilai medan gayaberat yang sudah diperoleh kemudian difilter, dimana tujuannya untuk menghilangkan *noise* yang terdistribusi dari hasil *gravity anomaly free air*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan *spherical distance* dimana pada perhitungan ini memfokuskan terhadap nilai latitude dan longitude sebagai komponen utama perhitungan [20][21]. Proses perhitungan ini dijelaskan pada persamaan 3.9.

$$SD = 6371000 \times \cos^{-1} (\sin (\text{lat} (i) \times 0.017453292) \times \sin (\text{lat} (i-1) \times 0.017453292) + \cos (\text{lat} (i) \times 0.017453292) \times \cos (\text{lat} (i-1) \times 0.017453292) \times \cos ((\text{lon} (i) - \text{lon} (i-1)) \times 0.017453292) \quad (3.9)$$

Dimana SD adalah *spherical distance*, 6371000 adalah nilai jari-jari bumi, dan 0.017453292 adalah nilai 1 derajat dikonversi menjadi radian. Script dan tahap pengolahan ini dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.2 Pengolahan Batimetri

Nilai medan gayaberat *free air* yang diperoleh kemudian akan ditransformasi menjadi sebuah estimasi batimetri. Pada proses pengolahan ini digunakan beberapa data tambahan yaitu data *ETOPO1* dengan resolusi 5 menit dan model medan gayaberat global dari *EGM2008*. Tahapan dalam pengolahan model batimetri ini terdiri dari proses pemotongan data dan resampling data *ETOPO1*, pengolahan medan gayaberat gelombang panjang, pengolahan medan gayaberat gelombang pendek dan pengolahan model batimetri. Tahapan ini akan dijelaskan pada bagaian selanjutnya.

a. Pemotongan Data Dan Resampling

Pengolahan yang dilakukan pada bagian ini adalah pemotongan data dan *resampling*. Data yang digunakan pada pengolahan ini adalah data model relief global dengan resolusi 1 menit (*ETOPO1*). Tujuan dilakukannya pemotongan data model relief global dan *resampling* pada pengolahan ini adalah untuk membatasi wilayah yang digunakan pada model agar sesuai dengan *area of interest*, dan mengubah resolusi spasial dari model relief global yang digunakan.

Proses *resampling* ini dikalkulasikan menggunakan metode *Gaussian* atau dengan menggunakan formula *spherical distance* dimana komponen yang menjadi parameter utama adalah longitude dan latitude [20][21]. Proses perhitungan dapat dilihat pada persamaan 3.9.

b. Pengolahan Medan Gayaberat Gelombang Panjang

Pada pengolahan ini digunakan dua variabel untuk memperoleh medan gayaberat gelombang panjang. Variabel itu terdiri dari nilai model relief global (*ETOPO1*) yang sudah dipotong sesuai cakupan wilayah penelitian dan juga sudah diresampling menjadi data resolusi spasial 5 menit, kemudian selanjutnya adalah data model medan gayaberat global *EGM2008*. Pada pengolahan ini digunakan referensi kedalaman laut maksimal sebesar 11000 meter [20][21]. Perhitungan pada pengolahan ini menggunakan pendekatan sistematis yang dijelaskan pada persamaan 3.10.

$$LGA = h_1 - ((-1 \times h_2) - 6000) \times 2 \times \pi \times \rho \times 0.006627 \quad (3.10)$$

Dimana LGA adalah medan gayaberat gelombang panjang, h_1 adalah nilai medan gayaberat setiap titik, h_2 adalah data kedalaman dari model relief setiap titik, ρ adalah konstanta ketetapan dengan nilai 1.64, nilai 6000 adalah konstanta ketetapan, 0.006627 adalah nilai eksentrisitas.

Script dan tahap untuk pengolahan medan gaya berat gelombang panjang ini akan dijelaskan pada lampiran A.

c. Pengolahan Medan Gayaberat Gelombang Pendek

Terdapat 2 variabel yang dibutuhkan untuk pengolahan nilai medan gayaberat gelombang pendek. Variabel yang dibutuhkan terdiri dari nilai medan gayaberat gelombang panjang, dan medan gayaberat *free air*. Proses perhitungan ini dilakukan dengan mengkalkulasikan nilai kedalaman setiap titik dengan menggunakan pendekatan sistematik [20][21].

Pengolahan ini dijelaskan pada persamaan 3.11.

$$Sga = h_{2(i)} - h_{1(i)} \quad (3.11)$$

Dimana $h_{1(i)}$ adalah nilai kedalaman pada medan gayaberat gelombang panjang setiap titik, dan $h_{2(i)}$ adalah nilai medan gayaberat *free air* setiap titik. Script dan

tahap pengolahan medan gayaberat gelombang pendek ini akan dijelaskan pada lampiran A

d. Estimasi Batimetri

Nilai dari medan gayaberat gelombang pendek kemudian ditransformasi menjadi estimasi batimetri. Pada proses estimasi ini digunakan referensi kedalaman 11000 meter. Perhitungan pada proses estimasi ini menggunakan metode pendekatan sistematis, dimana nilai kedalaman ($h_{Sga(i)}$) pada setiap titik medan gayaberat gelombang pendek direduksi untuk mendapatkan nilai kedalaman estimasi sebenarnya [20][21]. Proses perhitungan tersebut dijelaskan pada persamaan 3.12.

$$H = \frac{(-1 \times h_{Sga(i)})}{(2 \times \pi \times \rho \times 0.006627) - rh} \quad (3.12)$$

Dimana H adalah adalah nilai kedalaman setiap titik hasil estimasi batimetri, ($h_{Sga(i)}$) adalah nilai kedalaman setiap titik dari medan gayaberat gelombang pendek, rh adalah konstanta dengan nilai 6000, 0.006627 adalah nilai eksentrisitas, ρ adalah konstanta dengan nilai 1.64, dan π adalah konstanta dengan nilai 3.14.

3.2.3 Proses Validasi Data Batimetri

a. Selisih Nilai Kedalaman Dari Model Batimetri

Hasil model estimasi batimetri yang diperoleh dari data satelit altimetri *Cryosat-2* kemudian dikalkulasikan terhadap model batimetri yang diperoleh dari data *Multibeam Echosounder*. Tujuannya adalah untuk memperoleh selisih nilai kedalaman dari dua model batimetri tersebut. Selisih yang diperoleh kemudian dibandingkan berdasarkan zona kedalaman, yang bertujuan untuk melihat zona kedalaman yang paling besar mengakibatkan selisih kedalaman kedua model batimetri tersebut. Proses perbandingan tersebut dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan statistika selang kepercayaan 95% dan metode deteksi *outlier* 2σ .

b. Selang Kepercayaan 95% Dan Metode Deteksi Outlier 2 Sigma

Metode pendekatan ini dilakukan untuk melihat berapa persen data sampel yang berada dalam rentang toleransi dan berapa banyak data outlier dari hasil perkiraan pada setiap zona, dimana tujuannya adalah untuk melihat keakuratan hasil estimasi batimetri yang diperoleh dari satelit altimetri *Cryosat-2*. Pada proses pengolahan data ini dibutuhkan beberapa parameter, dimana parameter tersebut terdiri dari nilai rata-rata sampel atau populasi, standar deviasi dari sampel atau populasi, dan nilai *confidence level*. Formulasi perhitungan ini dapat dilihat pada persamaan 2.9, 2.10, 2.11, 2.12.

c. Proses Validasi Estimasi Batimetri Berdasarkan Zona Kedalaman

Proses validasi estimasi batimetri pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan validasi estimasi batimetri dari satelit altimetri *Cryosat-2* terhadap estimasi batimetri hasil dari pengukuran konvensional menggunakan data *Multibeam Echosounder*. Pada tahap ini proses validasi estimasi batimetri berfokus terhadap hasil estimasi kedalaman (*depht*) yang diperoleh dari kedua metode pengukuran tersebut. Proses validasi hasil estimasi batimetri ini dilakukan pada empat wilayah zona kedalaman yaitu hasil estimasi batimetri pada wilayah keseluruhan, hasil estimasi batimetri pada wilayah laut zona sangat dalam (Abisal), hasil estimasi batimetri pada wilayah laut zona dalam (Bathial), dan hasil estimasi batimetri pada wilayah laut zona dangkal (Neritik) [6].