

**ANALISIS ANOMALI REGIONAL PADA DATA  
GEOMAGNET MENGGUNAKAN METODE *UPWARD  
CONTINUATION* DAN METODE *POLYNOMIAL LEAST  
SQUARE***



**ILAPADILA**

**H221 14 021**

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2018**



**ANALISIS ANOMALI REGIONAL PADA DATA  
GEOMAGNET MENGGUNAKAN METODE *UPWARD  
CONTINUATION* DAN METODE *POLYNOMIAL LEAST  
SQUARE***

Skripsi untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat untuk  
mencapai gelar sarjana



**ILAPADILA**

**H221 14 021**

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2018**



**ANALISIS ANOMALI REGIONAL PADA DATA  
GEOMAGNET MENGGUNAKAN METODE *UPWARD  
CONTINUATION* DAN METODE *POLYNOMIAL LEAST  
SQUARE***

**Oleh:**

**ILAPADILA**

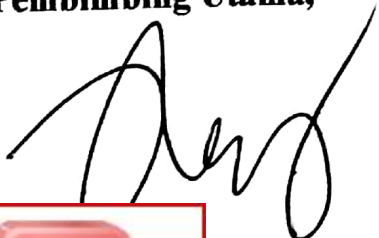
**H22114021**

**SKRIPSI**

**Untuk memenuhi salah satu syarat ujian  
Guna memperoleh gelar Sarjana Science  
Program Pendidikan Sarjana, Program Studi Geofisika ini  
Telah disetujui oleh Tim Pembimbing pada tanggal  
Seperti tertera di bawah ini**

**Makassar, 20 Desember 2018**

**Pembimbing Utama,**



**Arimei, M.Si  
199003 1 003**

**Pembimbing Pertama,**



**Dra. Maria, M.Si  
NIP. 19630518 199003 2 002**



Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana) di Universitas Hasanuddin.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing dan masukan Tim Penelaah/Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi.

Makassar, Desember 2018

Yang membuat pernyataan,

(ILAPADILA)  
NIM. H22114021



## ABSTRAK

Penelitian tentang analisis anomali regional pada data geomagnet telah dilakukan. Dengan menggunakan data sintetik model I (memiliki empat *block* anomali dengan kedalaman berbeda) dan model II (empat *block* anomali dengan suseptibilitas berbeda). Tujuan yang hendak dicapai 1) Untuk mencari jarak atau ketinggian pengangkatan di metode kontinuitas ke atas yang mendekati komponen regional. 2) Untuk mencari orde polinomial least square yang paling cocok dan mendekati komponen regional. 3) Untuk membandingkan hasil kedua metode yang mendekati data sintetik. Metode yang digunakan metode *upward continuation* dan metode *polynomial least square*. Adapun hasil yang diperoleh, tinggi pengangkatan pada metode *upward continuation* yang mendekati komponen regional (anomali dalam), untuk model I tinggi pengangkatan 90 meter dengan RMSE 0,05376% dan nilai anomali -0,482 sampai 2,554 nT. Sedangkan untuk model II ketinggian 30 meter dengan nilai anomali -6,152 sampai 16,629 nT dan RMSE 0,29096. Orde pada metode *polynomial least square* yang mendekati komponen regional yaitu orde 2 untuk model I dengan RMSE 0,09581% dan orde 2 untuk model II dengan RMSE 0,34250%. Hasil dari metode *upward continuation* paling mendekati data sintetik, baik dari rentang nilai anomali, kontur yang dihasilkan dan nilai RMSE.

**Kata Kunci:** Anomali Regional; Anomali Residual; Geomagnet; *Polynomial Least Square*; *Upward Continuation*.



## ABSTRACT

Research on regional anomaly analysis on geomagnetic data has been done by using synthetic data model I (has four block anomalies with different depths) and model II (four block anomalies with different susceptibility). Objectives to be achieved 1) To find the distance or elevation of lift in the upward continuation method that approaches the regional component. 2) To find the least square polynomial order that best matches and approaches the regional component. 3) To compare the results of the two methods that are close to synthetic data. The method used is the upward continuation method and polynomial least square method. As for the results obtained, the lifting height in the upward continuation method is close to the regional component (deep anomaly), for the model I the lifting height is 90 meters with RMSE 0.05376% and the anomaly value of -0.482 to 2.554 nT. While for model II the height is 30 meters with anomalous values of -6,152 to 16,629 nT and RMSE 0.29096. The order in the least square polynomial method that approaches the regional component orders 2 for the model I with RMSE 0.09581% and order 2 for model II with RMSE 0.34250%. The results of the upward continuation method are closest to synthetic data, both from the range of anomalous values, contours generated and RMSE values.

**Keywords:** Geomagnet; Upward Continuation; Polynomial Least Square; Regional Anomaly; Residual Anomaly



## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT, yang senantiasa memberikan segala rahmat berupa kesehatan, kesempatan dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “ANALISIS ANOMALI REGIONAL PADA DATA GEOMAGNET MENGGUNAKAN METODE *UPWARD CONTINUATION* DAN METODE *POLYNOMIAL LEAST SQUARE*”. Shalawat dan salam tak henti-hentinya tercurah untuk bagi junjungan dan panutan kita, *Rasulullah Muhammad SAW*, keluarga, sahabat dan para pejuang agama-Nya. Kekasih Allah yang membawa umat manusia dari zaman kelam kebodohan ke zaman indah pengetahuan.

Dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari berbagai rintangan karena keterbatasan yang dimiliki penulis. Tapi dengan bantuan, bimbingan, dan semangat dari pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Tidak ada kalimat yang dapat menggambarkan rasa terima kasih penulis pada keluarga kecil nan besar di Bulukumba sana, **Bapak (Ramli), Mama’ (Syamsinar), Kakak (Fadli) , Adek Tampan (Angga), Adek Tua (Alif), dan Nenek hangat (Darma)**. Yang memberikan semua yang terbaik untuk penulis selama ini.

Penulis menyampaikan *jadzakumullahu khairan katsiran/katsirun* dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** dan Ibu **Dra. Maria, M.Si** selaku pembimbing utama dan pertama yang dengan sabar membimbing, memberi semangat dan ilmu disela-sela waktu sibuknya.

Bapak **Dr. Muh. Hmazah, S.Si, M.Si** , Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si, M.Si** dan Bapak **Muh. Fawzy Ismullah M., S.Si, M.Si** selaku dosen penguji atas saran dan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini.



3. **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa memberikan nasihat dan menjaga penulis sebagai wali di kampus.
4. Bapak **Dr. Muh. Altin Massinai, MT.Surv** sebagai ketua program studi Geofisika yang senantiasa memberi dukungan penuh kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Bapak/Ibu dosen Geofisika beserta staf yang tak bosan-bosan membagi ilmu, pengalaman, nasehat, dan waktu sehingga penulis dapat menjalani masa mahasiswa yang luar biasa.
6. Kakak tingkat yang senang tiasa membagi ilmu dan pengalaman kepada penulis terkhusus jajaran asisten KULAP 2017 ( **Kak Asraf, Kak Arif, Kak Faisal, Kak Zul**), **Kak Hena Suri Intan Pertiwi, Kak Arfah** dan **Kak Adimaher Zamhuri** ( kakak dan rekan seperjuangan grup *RAINY DESEMBER*), **Kak Sudarmadi** serta kakak-kakak lainnya yang terlalu panjang kalau disebutkan satu persatu.
7. Saudara-saudara **GEOFISIKA 2014** dan **FISIKA 2014** terima kasih untuk waktu berharga yang kalian berikan.
8. Almarhum **Muballigulhaq** sahabat yang memberikan banyak hal, mengenalkan banyak hal untuk penulis, semoga Allah mengampuni dosa dan menempatkannya di sisi orang-orang yang beriman.
9. **Sri Nur Hikmah Handayani my roomy** yang selalu memberikan semangat besar pada penulis selama menjalani masa studi dua tahun terakhir.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu, terima kasih untuk segala bantuan, dukungan, motivasi dan segala yang telah berikan pada penulis. Semoga Allah memberikan yang terbaik untuk kita semua. Aamiin.

Makassar, Desember 2018

Penulis





## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1 LATAR BELAKANG .....	1
I.2 RUANG LINGKUP .....	3
I.3 TUJUAN .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1. METODE GEOMAGNET .....	4
II.1.1. Gaya dan Kuat Medan Magnet .....	4
II.1.2. Potensial Magnet.....	5
II.1.3. Anomali Magnet.....	6
II.1.4. Suseptibilitas Batuan.....	7
II.2. FORWARD MODELLING .....	8
II.2.1. Fourier Transform .....	11
II.3. FILTER DATA .....	12
II.3.1. Metode Polynomial Least Square .....	12
II.3.2. Metode Upward Continuation.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	17
III.1. DATA .....	17
III.2. PROSEDUR PENELITIAN.....	18
III.3. DIAGRAM ALIR.....	19
III.4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	20



IV.1. HASIL METODE UPWARD CONTINUATION .....	20
IV.1.1. Hasil Model I .....	20
IV.2. HASIL METODE POLYNOMIAL LEAST SQUARE .....	27
IV.2.1 Hasil Model I .....	27
IV.2.2 Hasil Model II .....	30
IV.3. PERBANDINGAN HASIL METODE UPWARD CONTINUATION DAN METODE POLYNOMIAL LEAST SQUARE .....	33
IV.3.1. Model I .....	33
IV.3.2. Model II .....	35
BAB V PENUTUP .....	37
V.1 KESIMPULAN .....	37
V.2 SARAN .....	37
DAFTAR PUSTAKA .....	39
LAMPIRAN .....	41



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematik dari gaya magnet.....	5
Gambar 2.2 Model benda data sintetik.....	11
Gambar 2.3 Model hasil transformasi fourier.....	12
Gambar 2.4 Kontinuitas Ke atas dari permukaan horizontal.....	14
Gambar 2.5 Perbandingan kontur data sintetik dan hasil <i>upward</i> (a) mendekati (b) menjauhi.....	15
Gambar 3.1 (a) Model I (b) model II.....	17
Gambar 4.1 (a) Kontur anomali model 1 (b) kontur anomali dangkal (c) kontur anomali dalam.....	19
Gambar 4.2 <i>Upward continuation</i> (a) anomali dangkal (b) anomali dalam.....	20
Gambar 4.3 Perbandingan kontur anomali dangkal dan hasil <i>upward</i> 60 meter.....	21
Gambar 4.4 Perbandingan kontur anomali dalam dan hasil <i>upward</i> 150 meter.....	21
Gambar 4.5 (a) kontur anomali model II (b) kontur anomali dangkal (c) kontur anomali dalam.....	22
Gambar 4.6 <i>Upward continuation</i> (a) anomali dangkal (b) anomali dalam.....	23
Gambar 4.7 Perbandingan kontur anomali dangkal dan <i>upward</i> 50 Meter.....	23
Gambar 4.8 Perbandingan kontur anomali dalam dan <i>upward</i> 130 meter.....	24
Gambar 4.9 <i>slice</i> kontur (a) model anomali dangkal (b) orde 2 (c) orde 3 (d) orde 4.....	24
Gambar 4.10 <i>slice</i> kontur (a) model anomali dalam (b) orde 2 (c) orde 3 (d) orde 4.....	25
Gambar 4.11 Kurva perbandingan anomali dangkal (a) model-orde 2 (b) model- orde 3 (c) model-orde 4.....	26
Gambar 4.12 Kurva perbandingan anomali dalam (a) model-orde 2 (b) model- orde 3 (c) model-orde 4.....	26
Gambar 4.13 <i>Slice</i> kontur (a) model anomali dangkal (b) orde 2 (c) orde 3 (d) orde 4.....	27
Gambar 4.14 <i>Slice</i> kontur (a) model anomali dalam (b) orde 2 (c) orde 3 (d) orde 4.....	28
Gambar 4.15 Kurva perbandingan anomali dangkal (a) model-orde 2 (b) model- orde 3 (c) model-orde 4.....	28
Gambar 4.16 Kurva perbandingan anomali dangkal (a) model-orde 2 (b) model- orde 3 (c) model-orde 4.....	29
Gambar 4.17 Perbandingan kontur respon benda anomali dangkal model I dengan hasil <i>upward</i> 60 meter dan hasil polinomial orde 4.....	30
Gambar 4.18 Perbandingan kontur respon benda anomali dalam model I dengan hasil <i>upward</i> 150 meter dan hasil polinomial orde 4.....	31
Gambar 4.19 Perbandingan kontur respon benda anomali dangkal model II dengan hasil <i>upward</i> 50 meter dan hasil polinomial orde 2.....	32
Gambar 4.20 Perbandingan kontur respon benda anomali dangkal model II dengan hasil <i>upward</i> 50 meter dan hasil polinomial orde 2.....	33



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koordinat dari model I dan model II .....	16
Tabel 4.1 Perbandingan rentan nilai hasil upward dengan rentan nilai model (respon anomali regional dan residual) model I .....	22
Tabel 4.2 Nilai RMSE dari hasil upward continuation model I .....	23
Tabel 4.3 Perbandingan rentan nilai hasil upward dengan rentan nilai model (respon anomali regional dan residual) model II .....	26
Tabel 4.4 Nilai RMSE dari hasil upward continuation model II .....	26
Tabel 4.5 RMSE dari perbandingan kurva model anomali orde polinomial .....	28
Tabel 4.6 RMSE dari perbandingan kurva model anomali orde polinomial .....	31



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Model I dan Model II (anomali dangkal dan anomali dalam).....	41
Lampiran B. Data model I.....	42
Lampiran C. Data model II.....	43
Lampiran D. Kartu kontrol bimbingan tugas akhir.....	45
Lampiran E. Kartu kontrol seminar tugas akhir mahasiswa.....	46



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Geofisika adalah bagian dari ilmu bumi yang mempelajari bumi menggunakan prinsip-prinsip fisika. Penelitian geofisika untuk mengetahui kondisi bawah permukaan bumi melibatkan pengukuran di atas permukaan bumi. Dari hasil pengukuran ini dapat ditafsirkan bagaimana sifat-sifat dan kondisi dibawah permukaan baik secara horisontal maupun vertikal.

Metode geomagnet merupakan salah satu metode geofisika yang termasuk dalam metode pasif. Yaitu metode geofisika yang tidak menggunakan gangguan luar (injeksi listrik, pukulan, ledakan dan lain-lain) dalam proses pengambilan data. Metode geomagnet didasarkan atas variasi medan magnetik di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh perbedaan sifat kemagnetan batuan di kerak bumi. Metode magnetik (geomagnet) dilakukan berdasarkan pengukuran anomali geomagnet yang diakibatkan oleh perbedaan kontras suseptibilitas. Apabila ada nilai medan yang diperoleh memiliki nilai yang kontras dari nilai medan magnet sekitarnya, biasa disebut anomali magnetik (Broto & Putranto, 2011).

Nilai medan magnet yang diukur di lapangan terdiri atas dua komponen bersuperposisi, komponen anomali regional dan komponen anomali residual (lokal). Komponen anomali regional yang memiliki frekuensi rendah memberikan informasi mengenai benda sumber anomali pada kedalaman yang besar. Komponen

residual memberikan informasi sebaliknya. Pemisahan anomali regional-menjadi tahap yang sangat penting. Oleh karena itu, dibutuhkan filter data



yang dapat tepat untuk memperoleh hasil data yang representatif sehingga hasil interpretasi menjadi lebih baik (Satiawan, 2009).

Ada beberapa metode yang biasa digunakan untuk memisahkan anomali regional-residual. Seperti polinomial *least square* (Haerudin dan Karyanto, 2007), panjang gelombang (Satiawan, 2008), *moving average* (Purnomo, 2013), dan kontinuitas ke atas (Hiskiawan, 2016). Penelitian ini akan menggunakan dua metode yaitu kontinuitas ke atas dan polinomial *least square* pada data sintesis dengan anomali sama. Metode kontinuitas ke atas (*upward continuation*) merupakan metode yang biasa digunakan untuk menghilangkan bising (*noise*) yang ditimbulkan oleh benda-benda pada dekat permukaan dan diperoleh anomali regional. Tahun 2009, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Satiawan diketahui tinggi pengangkatan untuk metode *upward continuation* yaitu sekitar  $1/3$  sampai  $1/2$  dari kedalaman anomali. Sedangkan metode polinomial *least square* merupakan pendekatan matematis untuk menentukan orde optimum kuadran terkecil sehingga diperoleh anomali regional yang lebih halus. Haerudin dan Karyanto (2007) melakukan penelitian menggunakan penelitian menggunakan metode ini menyimpulkan pemisahan orde dua menghasilkan nilai ralat paling kecil dan mendekati anomali regional daerah penelitian. Penelitian ini akan terfokus untuk menentukan tinggi pengangkatan pada metode *upward continuation* dan orde pada metode polinomial *least square* yang sesuai, sehingga akan mempermudah pemilihan metode untuk parameter tertentu pada pengolahan data magnetik

ya.



## I.2 Ruang Lingkup

1. Metode yang digunakan hanya metode kontinuitas ke atas dan metode polinomial *least square*.
2. Parameter untuk data sintetik adalah kedalaman dan susceptibilitas batuan.

## I.3 Tujuan

1. Untuk mencari ketinggian pengangkatan di metode kontinuitas ke atas yang mendekati komponen regional.
2. Untuk mencari orde polinomial *least square* yang paling cocok dan mendekati komponen regional.
3. Untuk membandingkan hasil kedua metode yang paling mendekati data sintetik.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Metode Geomagnet

Metode geomagnet merupakan salah satu metode pasif geofisika yang mempelajari bawah permukaan bumi berdasarkan sebaran medan magnet di permukaan bumi. Metode ini bekerja berdasarkan pengukuran variasi kecil intensitas medan magnet di permukaan, variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan (suseptibilitas) antar batuan di dalam kerak bumi sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, atau anomali magnetik. Variasi medan magnet dapat disebabkan adanya perubahan struktur geologi di bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku. Metode magnet juga dapat mengetahui kedalaman dan struktur permukaan, sehingga pengukuran dapat diperoleh dengan mudah untuk studi lokal dan regional.

Dalam survei magnetik, yang diteliti berupa anomali lokal dan anomali regional dari medan magnetik yang disebabkan oleh batuan akibat mineral-mineralnya. Penelitian material bawah permukaan dengan konsep magnetik yaitu dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan yang sangat rendah (Nugraha, 2015).

##### II.1.1. Gaya dan Kuat Medan Magnet

Apabila terdapat dua kutub yang masing-masing memiliki kutub magnetik  $p_1$  dan  $p_2$  yang terpisah dengan jarak  $r$  maka akan menimbulkan gaya magnet dengan persamaan (Telford, 1990):

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p_1 p_2}{r^2} \hat{r} \quad (2.1)$$

$\vec{F}$  = Gaya magnetik (N)

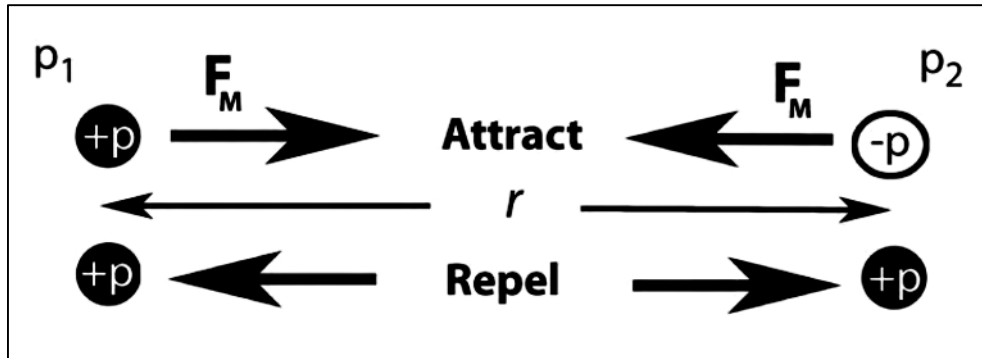


$\mu$ = permeabilitas magnetik (N/A<sup>2</sup>)

$\hat{r}$ = vektor satuan yang berarah dari  $p_1$  terhadap  $p_2$

$p$ = muatan kutub magnet (A.m)

Berikut merupakan gambar yang menjelaskan persamaan 2.1



Gambar 2.1 Skematik dari gaya magnet (sumber: Hinze, 2013)

Sedangkan untuk medan magnet merupakan gaya magnet per kutub, maka persamaan 2.1 berubah menjadi:

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{p_2} = \frac{1}{\mu} \frac{p_1}{r^2} \hat{r} \quad (2.2)$$

Apabila dua buah kutub  $+p_1$  dan  $-p_2$  yang besarnya sama terpisah sejauh  $2l$ , maka momen magnetik dipole yang muncul adalah

$$\vec{m} = 2l p \hat{r} \quad (2.3)$$

$\vec{m}$  merupakan vektor dengan vektor satuan  $\hat{r}$ , momen magnetik dipole berarah dari kutub negatif menuju kutub positif.

### II.1.2. Potensial Magnet

Teorema Helmholtz digunakan untuk memperoleh persamaan potensial magnetik

sebagai berikut (Blakely, 1995):

$$\nabla \times \vec{A} = \vec{H} \quad (2.4)$$



Potensial magnetik terbagi atas dua yaitu potensial skalar dan potensial vektor, merupakan potensial skalar dan adalah potensial vektor.

$$\nabla \cdot \vec{H} = \nabla^2 V \quad (2.5)$$

$$V = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\nabla \cdot \vec{H}}{r} dv \quad (2.6)$$

Persamaan 2.6 merupakan persamaan potensial skalar  $V$ .

$$\nabla^2 \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla \times \vec{H} \quad (2.7)$$

$$\nabla^2 \vec{A} = -\nabla \times \vec{H} \quad (2.8)$$

$$\vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\nabla \times \vec{H}}{r} dv \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 yang merupakan potensial vektor  $\vec{A}$

### II.1.3. Anomali Magnet

Anomali merupakan keadaan yang berbeda pada suatu titik dengan lingkungan sekitar titik. Anomali magnetik pada dasarnya merupakan kelainan atau perbedaan yang mencolok dari data magnetik pada suatu area yang sifat magnetnya telah diteliti. Anomali dapat terjadi pada bahan yang kecil hingga pada sebuah survei magnetik suatu wilayah .

Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan target dari survey magnetik (anomali magnetik). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi. Medan magnet remanen

memiliki peranan yang besar pada magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah magnetnya serta sangat rumit diamati karena berkaitan dengan peristiwa



kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *Normal Residual Magnetism* yang merupakan akibat dari magnetisasi medan utama. Anomali yang diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan dari keduanya, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar, demikian pula sebaliknya (Telford, 1990).

Anomali residu (lokal) mencerminkan kondisi geologi daerah penelitian yang bersifat lokal dan dangkal, yang dicirikan oleh anomali yang mempunyai Frekuensi tinggi. Anomali regional di lain pihak memberikan gambaran kondisi geologi secara lebih luas (regional) pada daerah yang dalam dengan dicirikan oleh anomali yang berfrekuensi rendah (Nugraha, 2015).

#### II.1.4. Suseptibilitas Batuan

Jika suatu benda terinduksi oleh medan magnet  $\vec{H}$ , maka besar magnetisasi yang dialami oleh benda tersebut adalah:

$$\vec{M} = k\vec{H} \quad (2.10)$$

Dimana  $\vec{M}$  adalah magnetisasi, dan  $k$  adalah suseptibilitas magnetik. Suseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu material. Semakin tinggi nilai suseptibilitas suatu batuan, maka semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik (Telford, 1990). Jika suatu benda berada dalam medan magnet, maka akan timbul medan magnet baru dalam benda (induksi). Dengan adanya batuan yang mengandung mineral yang bersifat magnetik, medan magnet normal bumi akan terganggu karena induksi magnetik batuan.



litas batuan mengakibatkan induksi medan magnet disekitarnya. Jika medan magnet adalah  $\vec{B}$  dipengaruhi oleh medan eksternal  $\vec{H}_{ex}$  dan  $\vec{H}_m$

adalah medan magnet yang dihasilkan oleh material magnet. Sehingga diperoleh persamaan induksi medan magnet (Serway & Jewett, 2014) adalah:

$$\vec{B} = \vec{H}_{ex} + \vec{H}_m \quad (2.11)$$

$$\vec{H}_m = \mu_0 \vec{M} \quad (2.12)$$

$$\vec{H}_{ex} = \mu_0 \vec{H} \quad (2.13)$$

Dimana  $\mu_0$  adalah permitivitas ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7} \text{Wb/A m}$ ) dan  $\vec{M}$  magnetisasi,  $\vec{H}$  adalah kuat medan magnet. Persamaan 2.11 dapat ditulis:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.14)$$

## II.2. Forward Modelling

*Forward modelling* (pemodelan kedepan) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaannya. Perhitungan data teoritis tersebut menggunakan persamaan matematis yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena yang ditinjau. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di tempat pengukuran data (Grandis, 2009). Pemodelan ke depan pada metode magnetik dilakukan dengan membuat model benda anomali yang memiliki geometri dan harga kemagnetan tertentu. Setiap benda yang memiliki harga kemagnetan akan memberikan suatu medan potensial yang dapat diuraikan dalam persamaan berikut (Blakely, 1995):

$$V(P) = -C_m \vec{M} \cdot \nabla_P \frac{1}{r} dv \quad (2.16)$$

asi dalam bentuk posisi  $dv$  sama dengan  $\vec{M}(Q)$ . Apabila persamaan 2.16

dalam bentuk integral akan menjadi:



$$V(P) = C_m \int_R \vec{M}(Q) \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv \quad (2.17)$$

$$B(P) = -\nabla_P V(P) \quad (2.18)$$

Persamaan 2.17 disubstitusikan ke persamaan 2.18

$$B(P) = -C_m \nabla_P \int_R \vec{M} \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv \quad (2.19)$$

Persamaan 2.19 merupakan persamaan untuk menghitung induksi medan magnet pada model yang telah dibuat. Dengan  $M$  = magnetisasi;  $r$  = jarak dari titik observasi  $P$  ke elemen  $dv$ ;  $C_m$  = konstanta atau biasa ditulis  $\frac{\mu_0}{4\pi}$ .

Model benda yang dibuat pada penelitian ini adalah prisma segiempat (gambar 2.2). Untuk menghitung total medan magnetik ( $\Delta T$ ) yang disebabkan oleh model sembarang benda dengan persamaan berikut:

$$\Delta T = -C_m \hat{F} \cdot \nabla_P \int_R \vec{M} \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv \quad (2.20)$$

$\hat{F}$  merupakan vektor satuan dari medan regional. Bhattacharyya (1964), menurunkan persamaan 2.20 untuk menghitung medan magnetik total yang disebabkan oleh prisma segiempat dengan dimensi  $x_1 \leq x \leq x_2$ ;  $y_1 \leq y \leq y_2$ ;  $z_1 \leq z < \infty$ . Dimana  $\vec{M} = M(\hat{i}M_x + \hat{j}M_y + \hat{k}M_z)$  sehingga diperoleh persamaan total medan magnetik benda model prisma segiempat adalah:

$$\begin{aligned} \Delta T = C_m M \left[ \frac{\alpha_{23}}{2} \log \left( \frac{r-x'}{r+x'} \right) + \frac{\alpha_{13}}{2} \log \left( \frac{y-x'}{y+x'} \right) - \alpha_{12} \log(r+z_1) - \right. \\ \left. M_x \hat{i} \arctan \left( \frac{x'y'}{x'^2 + rz_1 + z_1^2} \right) - M_y \hat{j} \arctan \left( \frac{x'y'}{r^2 + rz_1 - x'^2} \right) + \right. \\ \left. M_z \hat{k} \arctan \left( \frac{x'y'}{rz_1} \right) \right] \Bigg|_{\substack{x'=x_2 \\ x'=x_1}} \Bigg|_{\substack{y'=y_2 \\ y'=y_1}} \quad (2.21) \end{aligned}$$



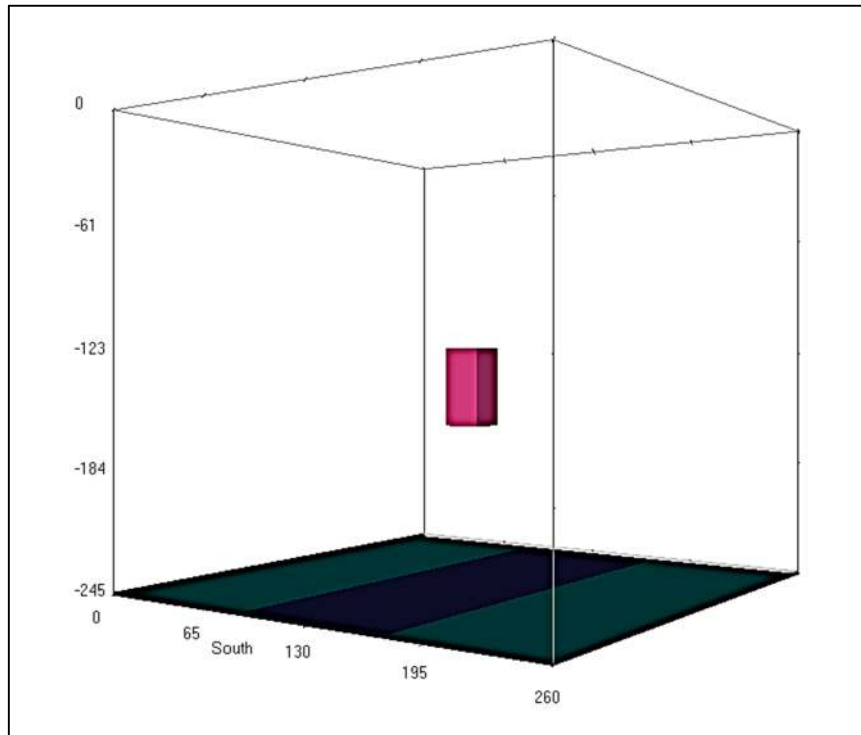
$\hat{j} + M_y \hat{i}$ ;

$\alpha_{13} = M_x \hat{k} + M_z \hat{i}$ ;

$$\alpha_{23} = M_y \hat{k} + M_z \hat{j};$$

$$r^2 = x'^2 + y'^2 + z_1^2 \text{ merupakan}$$

letak dari *block* anomali



Gambar 2.2 Model benda data sintetik

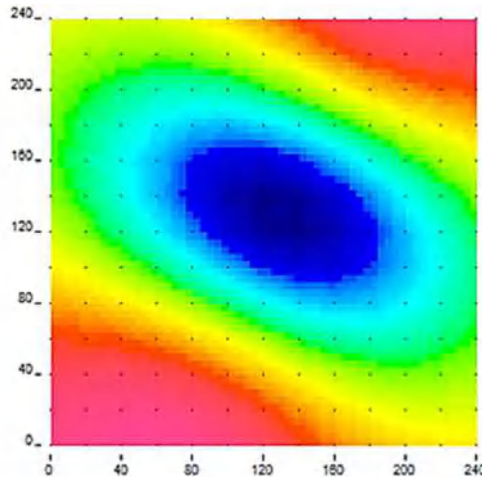
Sedangkan untuk menghitung induksi medan magnet dari *forward modelling* menggunakan persamaan berikut.

$$\vec{B}_a = \mu_0 k \Delta T \vec{H} \quad (2.22)$$

$$\vec{B}_a = \mu_0 \Delta T \vec{M} \quad (2.23)$$

Dimana  $\vec{B}_a$  adalah medan anomali total. Gambar 2.3 merupakan hasil dari *forward modelling*.





Gambar 2.3 Penampang yang diperoleh dari *forward model* dari software (Satiawan, 2009)

### II.2.1. *Fourier Transform*

Transformasi Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk memindahkan domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi atau domain bilangan gelombang. Analisa-analisa dalam domain bilangan gelombang banyak digunakan seperti *filtering*. Tapi sebelum, membahas transformasi fourier, berikut merupakan bentuk eksponensial dari deret fourier:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f_n e^{ik_n x} \quad (2.24)$$

Dimana  $k_n = \frac{2\pi n}{x}$  ;  $i = \sqrt{-1}$  ;  $f_n = \frac{1}{x} \int_{x_0}^{x_0+X} f(x) e^{-ik_n x} dx$ . Jika batas  $f_n$  diubah menjadi tak hingga maka persamaan akan berubah menjadi persamaan aperiodik dari transformasi fourier:

$$f_n = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ikx} dx \quad (2.25)$$

Transformasi fourier terbagi atas dua yaitu satu dimensi dan dua dimensi. Penelitian ini akan menggunakan persamaan transformasi fourier menggunakan transformasi

nsi. Tujuan dilakukan transformasi untuk mengubah domain data dari spasial ke domain bilangan gelombang. Hal ini dilakukan untuk





mempermudah pengolahan data secara komputasi, dimana konvolusi pada domain spasial diubah menjadi perkalian biasa pada domain bilangan gelombang (Satiawan, 2009).

$$f(x, y) \Leftrightarrow f(k_x, k_y) \tag{2.26}$$

$$f(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{i(k_x x + k_y y)} dx dy \tag{2.27}$$

k adalah bilangan gelombang dimana  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ .

### II.3. Filter Data

Filter adalah sistem yang mempunyai fungsi transfer tertentu untuk meloloskan sinyal masukan pada frekuensi - frekuensi tertentu dan menyaring / memblokir / melemahkan sinyal masukan pada frekuensi-frekuensi yang lain (Nurwati, 2009).

Secara umum filter data merupakan suatu prosedur numerik/algorithm yang mengubah deret sinyal masukan  $x(n)$  menjadi deret sinyal keluaran  $y(n)$  (Rochim, 2008). Pada penelitian ini ada dua metode pemisahan yang digunakan yaitu:

#### II.3.1. Metode *Polynomial Least Square*

Metode polinomial *least square* pada dasarnya merupakan suatu pendekatan matematis untuk menentukan orde optimum kuadrat terkecil dari komponen regional, sehingga apabila dikurangkan dari data anomali medan magnetik yang sudah berada pada bidang datar akan meminimalkan distorsi pada komponen lokalnya (Haerudin dan Karyanto, 2007). Simbol R menunjukkan komponen residual (lokal) dan dituliskan dalam bentuk Persamaan :



$$= Z \tag{2.28}$$

$$= \Delta g(x_i, y_i) - Z(x_i, y_i) \tag{2.29}$$

Dengan  $\Delta g$  sebagai anomali magnetik yang diamati dan  $Z$  adalah permukaan regional. Permukaan regional direpresentasikan dengan persamaan polinomial

$$Z(x, y) = \sum_{n=0}^p \sum_{s=0}^n a_n^s X^{n-s} Y^s \quad (2.30)$$

Untuk menentukan orde yang cocok dengan model yang dibuat maka digunakan persamaan *RMS Error*. Semakin kecil *RMS Error* yang diperoleh maka semakin mendekati komponen regional regional dari model. berikut persamaan dari *RMS Error* (Grandis, 2009)

$$RMS\ ERROR = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z - Z')^2} \quad (2.31)$$

Dimana  $Z$  adalah permukaan regional dari model sedangkan  $Z'$  adalah permukaan regional orde yang digunakan.

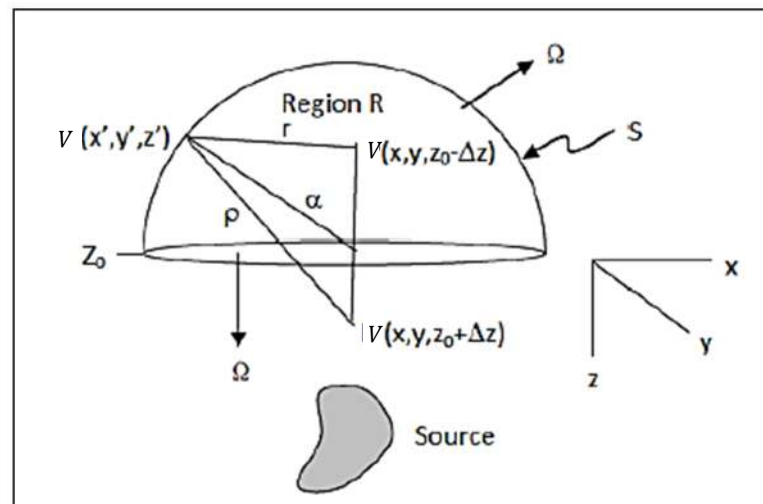
### II.3.2. Metode *Upward Continuation*

Kontinuasi ke atas merupakan suatu proses yang dilakukan dengan cara *trial and error* yang pada prinsipnya mengamati kecenderungan dari pola kontur yang terjadi pada saat pengolahan data. Medan potensial yang bekerja pada suatu bahan magnetik terutama pada bumi yang dianggap sebagai medan magnet terbesar, itu adalah medan potensial yang dapat dilakukan perhitungan pada setiap titik di dalam suatu wilayah yang berada pada batas keberadaan besaran medan magnet tersebut. (Nurdin, 2017) Kontinuitas ke atas dilakukan dengan mentransformasikan medan potensial yang diukur di permukaan tertentu ke medan potensial pada permukaan lainnya yang jauh dari sumber. Tranformasi ini memperlemah anomali-anomali

ungsi panjang gelombang.



Kontinuasi ke atas merupakan proses pengangkatan data sehingga pengukuran dilakukan di tempat lebih tinggi dari pada tempat pengukuran sesungguhnya seperti pada gambar 2.4. Hal ini untuk mengurangi efek anomali dangkal dan mendapatkan efek anomali magnetik dari benda yang relatif dalam (anomali regional) pada daerah yang diteliti. Pemisahan antara anomali regional dengan anomali lokal dalam pengolahan menggunakan kontinuasi ke atas akan menghasilkan tampilan interpretasi yang lebih akurat mengenai keberadaan anomali magnetik (Nugraha, 2015).



Gambar 2.4 Kontinuasi Ke atas dari permukaan horizontal (Blakely, 1995)

Secara konsep dasar proses kontinuasi ke atas berasal dari teorema Green. Pada teorema ini menyebutkan bahwa apabila terdapat suatu fungsi potensial  $V$  yang kontinu di setiap tempat maka akan mempunyai turunan yang kontinu pada sepanjang daerah  $r$  yang selanjutnya dapat dinyatakan sebagai berikut (Blakey, 1995):

$$V(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left( \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (2.32)$$

$S$  memberikan informasi sebagai permukaan di daerah  $R$ , sedangkan  $n$  memberikan informasi arah normal tegak lurus ke luar dan  $r$  kecil merupakan jarak potensial  $P$  di permukaan  $S$ . Persamaan (2.32) menunjukkan prinsip



penting dari metode kontinuasi ke atas, medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu wilayah yang terlingkupi oleh medan magnet (Hiskiawan, 2016).

*Upward continuation* akan lebih efisien jika dilakukan dengan menggunakan domain fourier. Seperti persamaan umum berikut (Blakely, 1995)

$$\mathcal{F}(U_u) = \mathcal{F}(U) \cdot \mathcal{F}(\varphi_u) \quad (2.33)$$

Dimana  $\mathcal{F}(U_u)$  = hasil transformasi fourier dari medan *upward continuation*;  $\mathcal{F}(U)$  adalah medan potensial yang telah di transformasi fourier;  $\mathcal{F}(\varphi_u)$  adalah fungsi transfer dari bidang kontinuasi yang telah ditransformasi dimana  $\varphi_u(k) = e^{-\Delta z k}$  sehingga diketahui (Satiawan, 2009):

- 1) Proses *upward continuation* akan mengalami atenuasi di setiap bilangan gelombang (k) kecuali ada k=0.
- 2) Setiap bilangan gelombang diatenuasi dengan tingkat derajat yang lebih besar dibanding bilangan gelombang yang lebih kecil.
- 3) Derajat atenuasi semakin besar dengan pengangkatan (*upward continuation*) dengan harga yang besar.

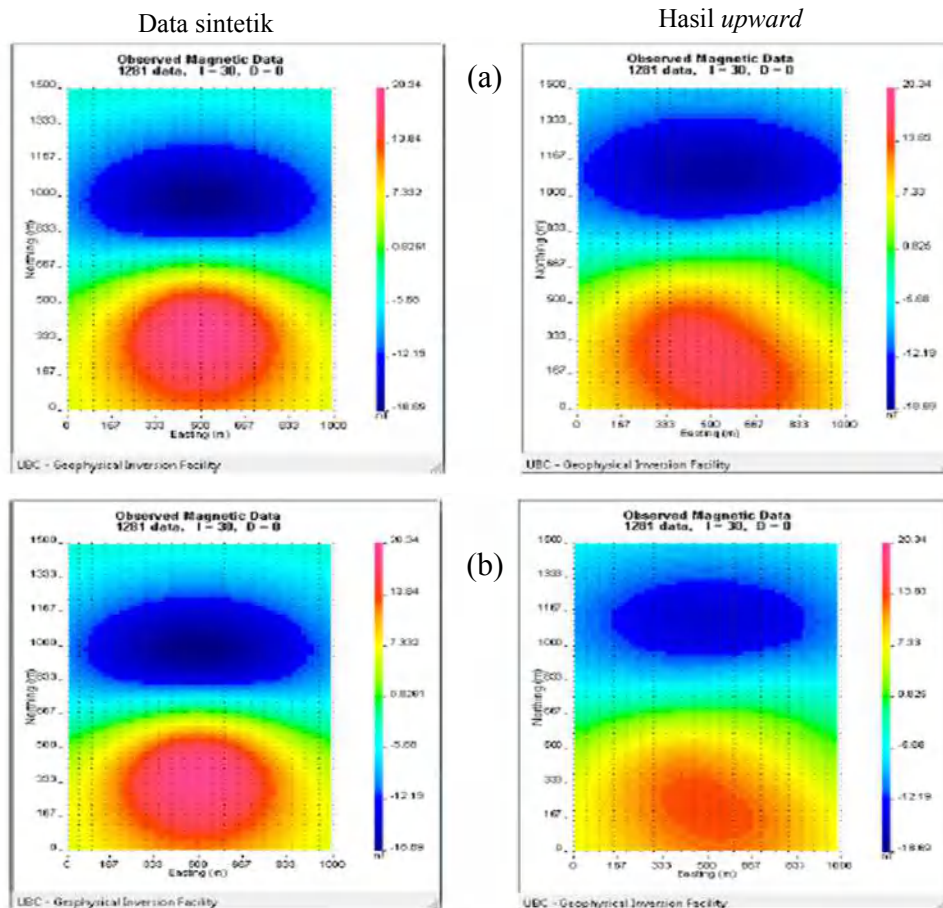
Untuk menghitung medan potensial dari hasil kontinuasi ke atas adalah sebagai berikut:

$$V(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{V(x', y', z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)} dx' dy' \quad (2.34)$$

Dimana  $V(x, y, z_0 - \Delta z)$  merupakan medan potensial pada bidang hasil kontinuasi,  $V(x, y, z_0)$  adalah hasil medan potensial pada bidang observasi sebenarnya,  $\Delta z$  adalah jarak atau ketinggian pengangkatan.



Untuk menentukan apakah hasil metode *upward continuation* sesuai dengan model data sintetik dapat dilihat dari kontur dan rentang nilai anomali yang dihasilkan. Semakin mirip kontur yang dihasilkan dan rentang nilai mendekati model data sintetik maka hasil *upward* dianggap sesuai dengan data sintetik. Berikut contoh kontur yang mendekati kontur dan yang menjauhi data sintetik:



Gambar 2.5 Perbandingan kontur data sintetik dan hasil *upward* (a) mendekati (b) menjauhi (Sumber: Satiawan, 2009)

Selain kontur dan rentan nilai yang dihasilkan cara menentukan tinggi pengangkatan *upward continuation* yang sesuai yaitu dengan menggunakan persamaan RMSE. Serta hasil antara *upward continuation* dan *polynomial least*

apat dengan mudah dibandingkan jika dinyatakan dengan nilai error

