

Aplikasi Turunan Vertikal Fraksional pada Data Magnet

Tedi Yudistira, Faisal Perdana dan Hendra Grandis

Program Studi Geofisika, Departemen Geofisika dan Meteorologi – ITB
Jalan Ganesa 10, Bandung-40132 e-mail: tedi@geoph.itb.ac.id

ABSTRAK

Turunan horizontal dan vertikal pada data medan potensial dilakukan untuk mempertajam data dan mendelineasi sumber anomali. Turunan vertikal umumnya menggunakan orde bulat (orde 1 atau orde 2) disesuaikan dengan konsep kalkulus yang mendasarinya. Turunan vertikal bersifat *high-pass filter* yang dapat memperkuat *noise* (frekuensi tinggi) sehingga proses turunan vertikal dapat mengaburkan anomali yang dicari. Untuk memperkecil efek tersebut maka digunakan orde fraksional atau pecahan, yang dimungkinkan pada perhitungan turunan menggunakan transformasi Fourier. Pada data magnetik dengan tingkat *noise* tinggi, turunan vertikal orde 0.5 atau 0.75 menampilkan keseimbangan antara penajaman anomali dan frekuensi tinggi (*noise*) sehingga lebih baik jika dibandingkan dengan turunan vertikal orde 1. Pada data dengan tingkat *noise* lebih rendah, turunan vertikal orde 1.5 atau 1.75 menghasilkan penajaman anomali yang optimal jika dibandingkan dengan turunan vertikal orde 2.

ABSTRACT

Horizontal and vertical derivatives of potential field data are used to enhance data and to locate the anomaly source bodies. Based on calculus concept, vertical derivatives are commonly calculated for integer orders, e.g. first or second order derivatives. Vertical derivatives perform as a high pass filter that can amplify noise (high frequency) such that vertical derivatives may lead to anomalies blurred with noise. To reduce the effect of noise amplification in a vertical derivative process, fractional order was used which is permitted when the calculation is performed in the Fourier domain. For magnetic data with low level of noise, vertical derivative of order 0.5 or 0.75 shows an optimum balance between feature enhancement and noise amplification, compared to first order derivative. For magnetic data with lower level of noise, vertical derivative of order 1.5 or 0.75 gives optimum anomaly enhancement rather than the second order derivative..

1. PENDAHULUAN

Peningkatan ketajaman pola anomali (*anomaly enhancement*) data medan potensial khususnya data magnetik dapat dilakukan dengan berbagai cara. Reduksi ke kutub dan reduksi ke ekuator, kontinuitas ke bawah, sinyal analitik (Grandis & Yudistira, 2001), transformasi logaritmik dan variansi (Sianturi, 2002) serta turunan horisontal dan vertikal merupakan beberapa teknik penajaman anomali magnetik. Proses penajaman anomali bertujuan untuk mendelineasi posisi anomali secara lebih tepat dan juga untuk pemisahan anomali yang saling berdekatan.

Perhitungan turunan horisontal umumnya dilakukan secara analitik sementara turunan vertikal dihitung menggunakan prinsip filtering. Selama ini turunan vertikal yang sering dilakukan adalah turunan orde bulat, yaitu orde 1, orde 2, dan seterusnya. Turunan vertikal bersifat sebagai *high pass filter* sehingga dapat memperkuat *noise* yang umumnya merupakan komponen frekuensi tinggi pada data. Hal tersebut dapat berakibat pada

menurunnya ketajaman anomali yang justru ingin diperkuat.

Makalah ini membahas implementasi proses turunan vertikal dengan orde fraksional atau pecahan sebagaimana dikemukakan oleh Cooper & Cowan (2003; 2004). Turunan vertikal orde fraksional juga telah diimplementasikan pada perangkat lunak pengolahan data medan potensial standar seperti *Geosoft* (Whitehead, 2004).

Turunan vertikal dengan orde fraksional dimungkinkan jika perhitungan dilakukan pada domain Fourier. Penggunaan orde fraksional yang lebih kecil dari orde bulat terdekat diharapkan dapat menghasilkan keseimbangan antara peningkatan kejelasan anomali dengan amplifikasi *noise* yang tidak terlalu besar. Algoritma perhitungan turunan vertikal fraksional diterapkan pada data magnetik sintetik yang merupakan respons benda anomali berupa prisma vertikal. Penerapan turunan vertikal fraksional juga dilakukan pada data lapangan dari daerah Ciemas Sukabumi selatan.

2. TURUNAN VERTIKAL

Turunan horizontal data medan potensial dapat langsung dihitung karena umumnya data diukur pada titik yang tersebar secara spasial (x, y). Turunan horizontal orde satu arah x dan arah y dapat dihitung melalui pendekatan berikut (Blakely, 1995),

$$\frac{\partial\phi(x, y)}{\partial x} \approx \frac{\phi_{i+1, j} - \phi_{i-1, j}}{2\Delta x} \tag{1}$$

$$\frac{\partial\phi(x, y)}{\partial y} \approx \frac{\phi_{i, j+1} - \phi_{i, j-1}}{2\Delta y} \tag{2}$$

dimana *i* dan *j* masing-masing adalah indeks grid dalam arah *x* dan *y*. Dengan menggunakan sifat-sifat turunan pada transformasi Fourier, turunan horizontal dapat pula dituliskan sebagai berikut,

$$F\left(\frac{\partial^n \phi}{\partial x^n}\right) = (ik_x)^n . F(\phi) \tag{3}$$

$$F\left(\frac{\partial^n \phi}{\partial y^n}\right) = (ik_y)^n . F(\phi) \tag{4}$$

dimana *F*() adalah notasi transformasi Fourier dan *k_x*, *k_y* adalah bilangan gelombang dalam arah *x* dan *y*.

Turunan vertikal data medan potensial tidak dapat dihitung secara langsung seperti turunan horizontal karena data medan potensial pada umumnya tidak diukur pada ketinggian yang berbeda pada satu titik. Persamaan Laplace yang berlaku pada medan potensial $\nabla^2\phi = 0$ dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \tag{5}$$

Transformasi Fourier persamaan Laplace tersebut menghasilkan,

$$F\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right) = k_x^2 . F(\phi) + k_y^2 . F(\phi)$$

$$F\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right) = |k|^2 . F(\phi) \tag{6}$$

dimana $|k| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$

Perhitungan turunan vertikal orde 2 seperti pada persamaan (6) dapat digeneralisasi untuk turunan vertikal orde *n* baik untuk *n* bulat maupun fraksional (Cooper & Cowan, 2003). Secara lebih umum persamaan (6) dapat dituliskan menjadi,

$$F\left(\frac{\partial^n \phi}{\partial z^n}\right) = |k|^n . F(\phi) \tag{7}$$

Secara analitis satuan turunan vertikal orde 1 dan orde 2 masing-masing adalah nT/m dan nT/m² sedangkan satuan turunan vertikal orde fraksional tidak terdefinisi. Namun hal tersebut bukan merupakan hambatan dalam penerapan perhitungan turunan vertikal fraksional. Dalam hal ini fokus utamanya adalah hasil perhitungan yang dinyatakan dalam bentuk visualisasi pola anomali yang lebih tegas atau lebih tajam .

Berdasarkan persamaan (7) turunan vertikal data medan potensial orde *n* dapat dihitung melalui tiga tahap. Tahap pertama adalah transformasi data magnetik ke domain Fourier. Tahap kedua adalah perkalian bilangan gelombang berpangkat orde turunan (*n*) dengan hasil transformasi Fourier data medan potensial. Tahap ketiga adalah transformasi Fourier invers hasil perkalian pada proses tahap kedua tersebut.

Pada proses penurunan vertikal, perkalian dengan bilangan gelombang dapat berakibat pada amplifikasi frekuensi tinggi (*noise*). Amplifikasi ini semakin besar dengan semakin besarnya orde turunan (*n*). Oleh karena itu turunan vertikal orde fraksional diharapkan dapat menghasilkan keseimbangan yang tepat antara penguatan sinyal (anomali) dan *noise*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep turunan vertikal orde *n* sebagaimana telah dibahas di atas diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang telah dibuat oleh Blakely (1995). Pada tahap awal dilakukan penurunan vertikal pada data magnetik sintetik yang merupakan respons benda anomali berupa prisma vertikal. Ukuran prisma dalam arah *x*, *y* dan *z* masing-masing adalah 500 x 500 x 4000 meter dengan kedalaman puncak 250 meter. Inklinasi dan deklinasi masing-masing adalah -30° dan 5°. Dalam hal ini semua ukuran geometri bersifat relatif sedangkan intensitas magnetisasi benda anomali dipilih sedemikian hingga anomali yang dihasilkan adalah dalam satuan nano Tesla (nT).

Turunan vertikal orde 1 dan orde 2 data tanpa *noise* tidak menunjukkan masalah yang berarti (Gambar 1). Penguatan pola anomali sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu tingkat penajaman anomali yang dihasilkan dari turunan vertikal orde 1 dan orde 2 tersebut dijadikan sebagai acuan untuk menganalisis hasil turunan vertikal data dengan *noise* dan data lapangan. Khusus pada turunan vertikal orde 2 tampak

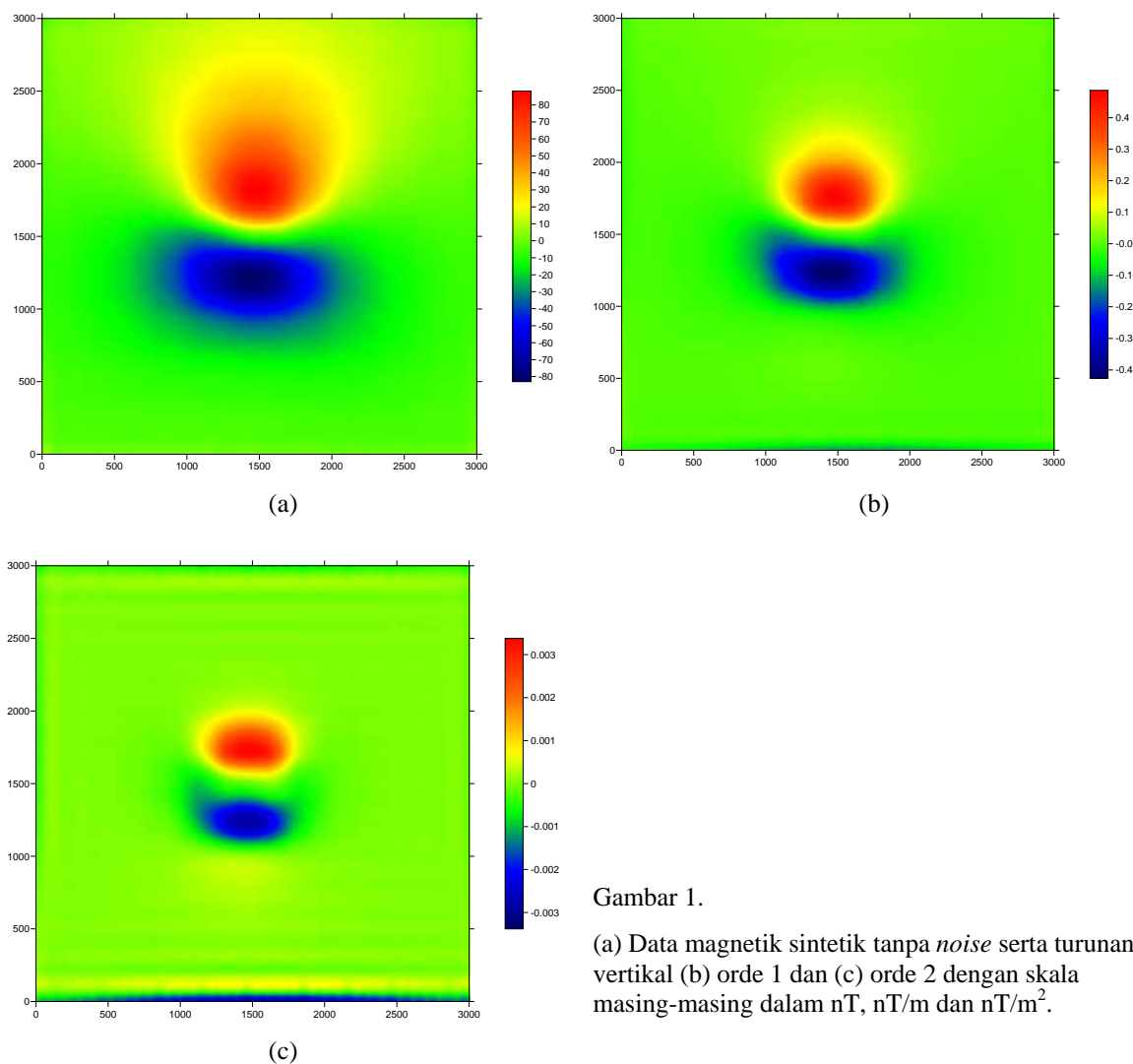
adanya efek tepi (*edge effect*) yang umum dijumpai pada proses transformasi Fourier dengan jumlah data terbatas dan tidak periodik.

Gambar 2 menunjukkan data sintetik dengan *noise* terdistribusi normal (Gaussian) dengan rata-rata nol dan standar deviasi 2 nT. Gambar 2 juga memperlihatkan hasil turunan vertikal data sintetik tersebut untuk orde 0.5, 1, 1.5 dan 2. Tampak bahwa *noise* frekuensi tinggi mengalami penguatan sedemikian hingga pada turunan vertikal orde 2 pola anomali sudah tidak jelas lagi. Dengan demikian untuk tingkat *noise* tersebut efek penajaman anomali yang paling mendekati turunan vertikal orde 2 adalah orde 1.5 atau paling tinggi orde 1.75 (tidak ditampilkan).

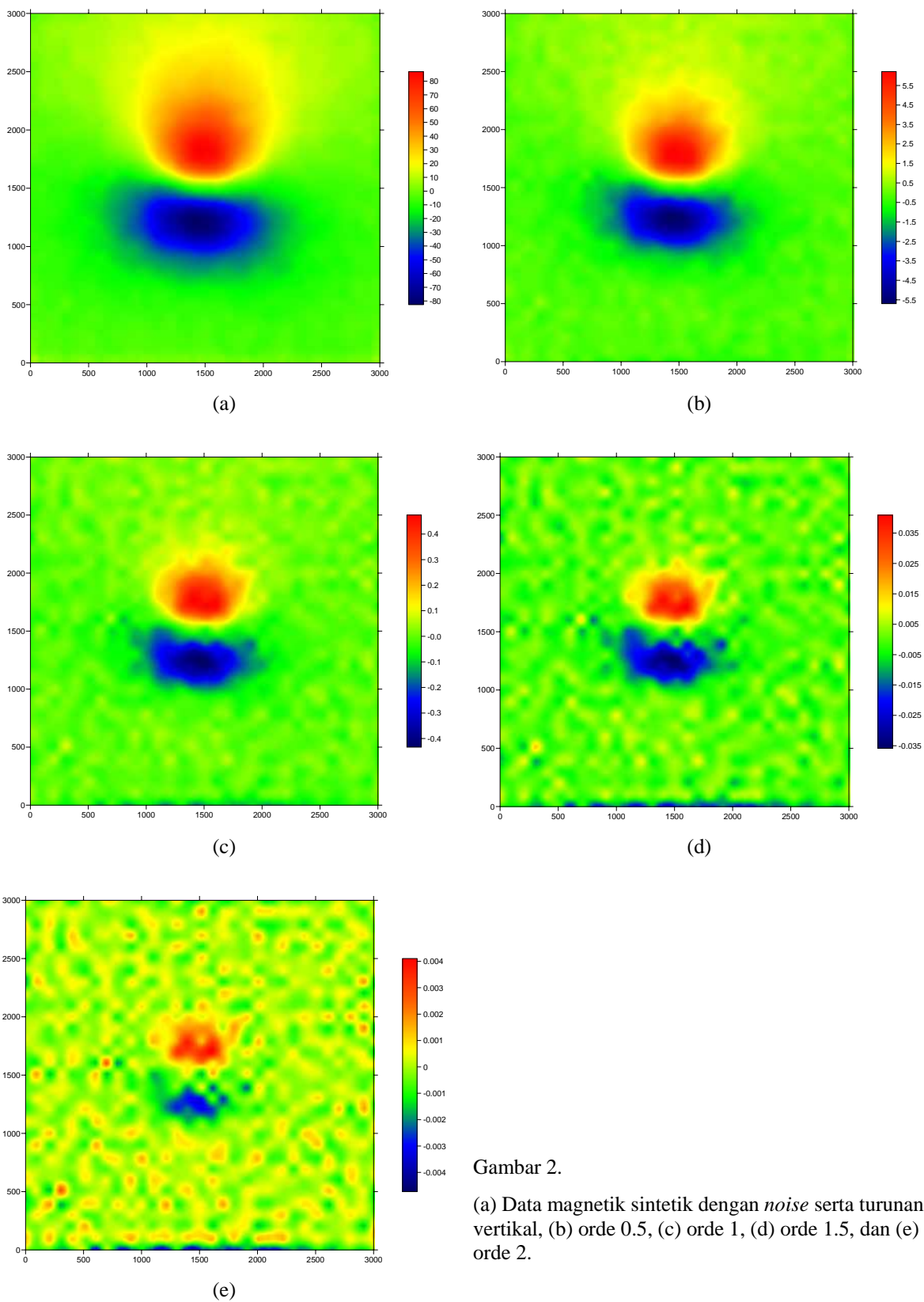
Berdasarkan hal tersebut, penajaman anomali yang masih menghasilkan pola anomali yang jelas untuk data dengan tingkat *noise* lebih tinggi adalah menggunakan turunan vertikal orde 1 atau orde yang lebih rendah terdekat (0.5 atau 0.75).

Aplikasi turunan vertikal juga dilakukan pada data lapangan magnetik yaitu dari daerah Ciemas, Sukabumi selatan. Peta kontur medan magnet total serta turunan vertikal orde 0.5 dan orde 1 diperlihatkan pada Gambar 3. Turunan vertikal orde 1 dapat memperjelas pola anomali terutama anomali yang memanjang hampir diagonal dari timur laut – barat daya. Namun demikian turunan vertikal orde 1 tampaknya bukan merupakan orde turunan vertikal yang optimum. Hal tersebut terlihat dari penguatan *noise* yang mengurangi kemenerusan anomali memanjang. Disamping itu efek tepi tampak sangat jelas di sebelah barat dan utara.

Dengan beberapa pertimbangan tersebut di atas turunan vertikal orde 0.5 dapat dianggap telah menghasilkan penajaman anomali yang optimum. Pembahasan mengenai signifikansi dari data magnetik daerah Ciemas dalam hubungannya dengan tujuan survey adalah di luar konteks makalah ini.

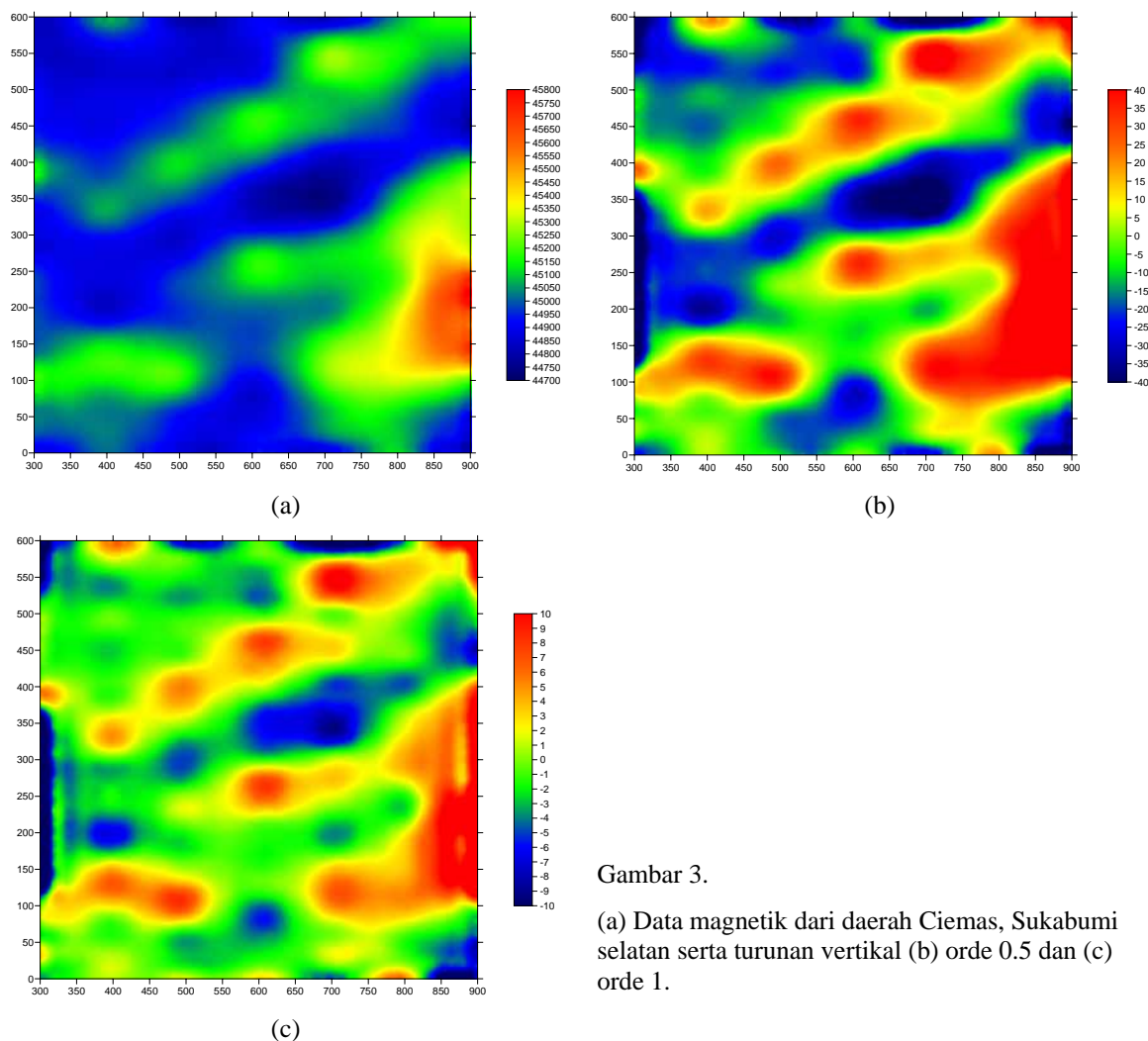


Gambar 1.
 (a) Data magnetik sintetik tanpa *noise* serta turunan vertikal (b) orde 1 dan (c) orde 2 dengan skala masing-masing dalam nT, nT/m dan nT/m².



Gambar 2.

(a) Data magnetik sintetik dengan *noise* serta turunan vertikal, (b) orde 0.5, (c) orde 1, (d) orde 1.5, dan (e) orde 2.



Gambar 3.
 (a) Data magnetik dari daerah Ciemas, Sukabumi selatan serta turunan vertikal (b) orde 0.5 dan (c) orde 1.

4. KESIMPULAN

Perhitungan turunan vertikal data medan potensial secara praktis dapat dilakukan dalam domain Fourier. Orde turunan vertikal dapat diperluas tidak hanya untuk orde bulat tetapi juga orde fraksional atau pecahan. Penggunaan turunan vertikal dengan orde fraksional dimaksudkan untuk meminimumkan efek penguatan *noise* atau frekuensi tinggi namun masih menghasilkan penajaman anomali utama yang diinginkan.

Hasil penerapan turunan vertikal pada data magnetik sintetik maupun data lapangan menunjukkan bahwa:

- Pada data magnetik dengan *noise* yang tidak terlalu tinggi, turunan vertikal orde 2 yang mengaburkan anomali utama dapat dihindari dengan menggunakan orde fraksional 1.5 sampai 1.75.

- Pada data magnetik dengan *noise* yang cukup tinggi turunan vertikal fraksional orde 0.5 sampai orde 0.75 menunjukkan keseimbangan antara penguatan frekuensi tinggi (*noise*) dan penajaman anomali utama.

Prosedur standar yang dapat dilakukan adalah dengan terlebih dahulu menghitung turunan vertikal orde 1 dan orde 2 kemudian memilih orde pecahan terdekat yang memberikan hasil optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada rekan-rekan dari Laboratorium Geofisika Terapan GM-ITB dan pimpinan Dept. GM-ITB atas dukungan dan fasilitas yang diberikan melalui Anggaran Dana Operasional Penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, New York.
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R., 2003, The application of fractional calculus to potential field data. *Exploration Geophysics* **34**(4), 51-56.
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R., 2004, Filtering using variable order vertical derivative. *Computer & Geosciences*, **30**, 455-459.
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R., 2003, Sunshading Geophysical data using fractional order horizontal gradients. *The Leading Edge*, 204-205.
- Grandis, H., Yudistira, T., 2001, Transformasi data magnetik menggunakan sumber ekivalen 3-D, *Prosiding PIT HAGI ke-26*, Jakarta.
- Sianturi, M.I., 2002, Transformasi logaritmik dan transformasi variansi pada data anomali magnetik. Tugas Akhir, Program Studi Geofisika Departemen GM-ITB.
- Whitehead, N., 2004. Physical significance and application of fractional vertical derivatives. Geosoft Technical Note.