

PENCIRIAN SESAR-SESAR MAJOR DI SEKITAR SEMENANJUNG MALAYSIA BERDASARKAN TEKNIK SATELIT GRAVITI

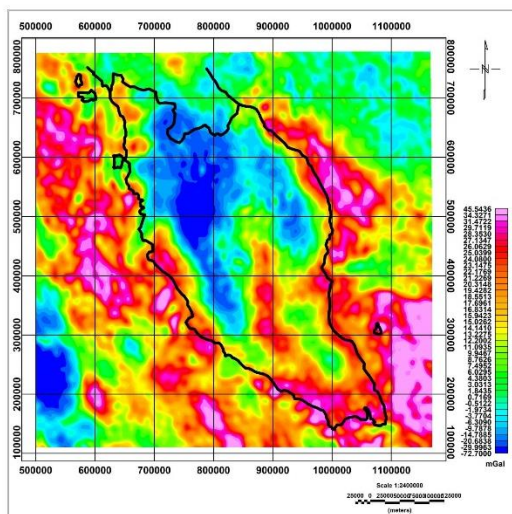
Nurul Fairuz Diyana Bahrudin*, Umar Hamzah

Program Geologi, Pusat Pengajian Sains dan Sumber Alam, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

*Corresponding author
nurulfairuz@nuclearmalaysia.gov.my

Article history
Received
11 August 2017
Received in revised form
13 October 2017
Accepted
10 January 2018

Graphical abstract



Abstract

Major fault structures of Peninsular Malaysia were interpreted by satellite gravity data obtained from EGM2008. Filtering including THD, TVD, TDR, TDX and Euler Deconvolution inversion techniques were applied to the data and successfully delineated the major faults especially located in the area separating the granite and sedimentary rock such as Bok Bak, Kuala Lumpur, Bukit Tinggi and Lebir faults. The main finding of this research is the boundary separating the western and eastern belt of Peninsular Malaysia namely the Bentong-Raub Suture by the abrupt changes of gravity anomalies between the two belts. The average depths and dips of Kuala Lumpur, Bukit Tinggi and Seremban faults were estimated by gravity inversion 3D Euler Deconvolution.

Keywords: Major faults, gravity survey, filtering and gravity inversion, 3D Euler Deconvolution

Abstrak

Pentafsiran struktur sesar major Semenanjung Malaysia telah dilakukan dengan menggunakan data graviti satelit yang diperolehi dari EGM2008. Teknik penapisan seperti THD, TVD, TDR, TDX dan penyongsangan Euler dekonvolusi telah berjaya mencerap sesar-sesar major yang terletak di antara jalur granit dan sedimen di bahagian tengah Semenanjung Malaysia seperti sesar Bok Bak, Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Lebir. Penemuan utama pentafsiran graviti ini adalah lokasi jalur yang memisahkan antara Jalur Barat dan Jalur Timur Semenanjung Malaysia iaitu Sutura Raub-Bentong. Hasil teknik penyongsangan graviti 3D Euler telah dapat menganggarkan purata kedalaman dan kemiringan sesar Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Seremban.

Kata kunci: Sesar major, survei graviti, penapisan dan penyongsangan gravity, Dekonvolusi 3D Euler

© 2018 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

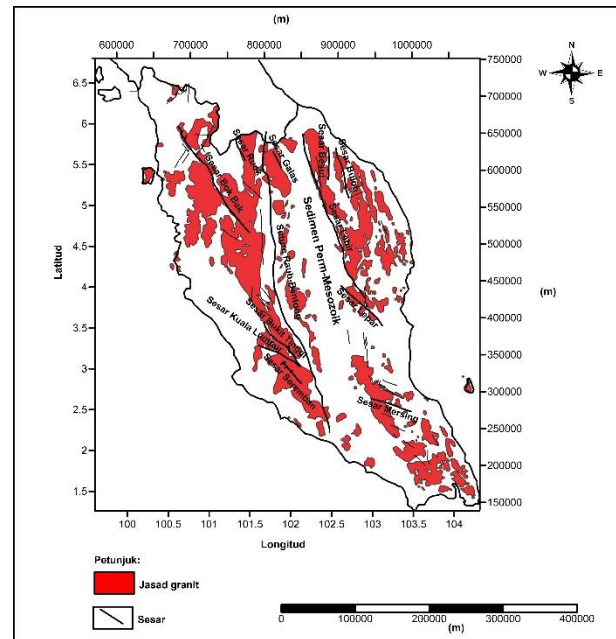
Kaedah graviti seringkali digunakan secara meluas di seluruh dunia dalam penentuan jasad anomali yang terletak di bawah permukaan bumi seperti kubah garam, perlipatan batuan, sesar dan retakan yang berasosiasi dengan longgokan hidrokarbon disamping penentuan longgokan bijih dan mineral, dan ketebalan kerak bumi [1-4]. Kaedah graviti ini seringkali diperbaiki dan diperhalusi untuk memperoleh hasil yang lebih baik khususnya dalam penentuan jasad anomali dengan lebih tepat [5]. Ini melibatkan kemajuan dalam pentafsiran dan pemrosesan yang berkaitan dengan pengeditan dan penapisan, penyongsangan penapisan 3D dan permodelan 3D. Data akhir merupakan peta dan model 3D yang mewakili lokasi anomali di bawah permukaan bumi.

Peta kedudukan sesar dan juga kedalaman sesar dalam bumi boleh dianggarkan dengan teknik penurasan songsang 3D [6-9]. Jasad anomali graviti hanya dapat diukur dan ditentukan kedudukannya di dalam bumi jika sekiranya ia mempunyai perbezaan ketumpatan yang sangat kontras dengan batuan perumah [10]. Data graviti biasanya disukat sama ada di permukaan, daratan dan laut secara pengukuran langsung dengan kapal laut atau secara penerbangan di udara dan yang terkini adalah melalui pengukuran satelit.

Analisis data satelit graviti telah dilakukan di Semenanjung Malaysia yang melibatkan sejumlah 298116 data. Kesemua data ini telah dilakukan pembetulan latitud. Dalam kajian ini, pengkhususan kajian melibatkan zon sesar Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Seremban (Rajah 2). Objektif kajian ini adalah untuk mencirikan kedudukan, kedalaman sesar, penentuan sesar-sesar minor yang berasosiasi di dalam zon sesar Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Seremban menggunakan kaedah graviti.

1.1 Geologi Kawasan Kajian

Intrusi granit pada usia Trias Akhir telah membentuk granit banjaran besar (*Main Range Granite*) dan juga jasad granit di utara Jalur Timur dan di selatan Jalur Tengah yang telah membentuk canggaaan seperti perlipatan serta batuan klastik dan kapur termetamorf yang berusia Paleozoik [11]. Penempatan granit juga telah menghasilkan beberapa sesar major dan juga beberapa sesar muda yang terbentuk hasil daripada pengaktifan semula sesar-sesar tersebut pada usia yang lebih muda pada zaman Kapur. Penempatan granit juga telah menerobos batuan metasedimen yang berusia Perm-Mesozoik diantara jasad granit utama dengan granit di Jalur Timur. Manakala batuan granit Jalur Timur memotong batuan sedimen yang berusia Karbon di bahagian utara dan Perm di bahagian selatan. Rajah 1 menunjukkan kedudukan sesar-sesar major dan jasad granit di Semenanjung Malaysia.



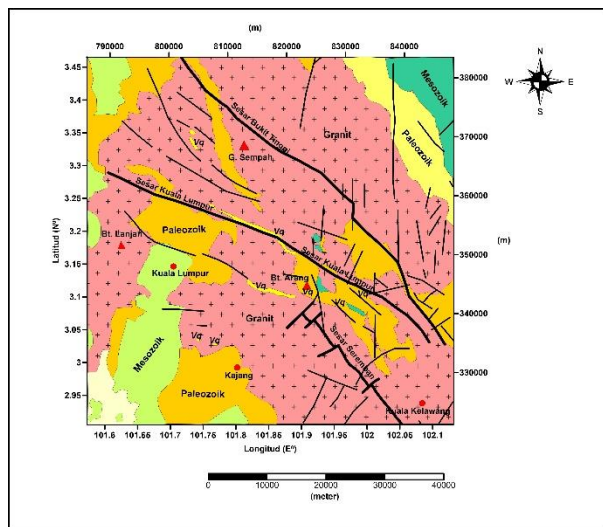
Rajah 1 Peta sesar-sesar major dan jasad granit di Semenanjung Malaysia [12]

1.2 Zon Sesar Kuala Lumpur

Rajah 2 menunjukkan kedudukan sesar Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Seremban dimana menurut Alexander (1968), Gobbet (1964), Stauffer (1968) dan Zaiton (1992) sesar Kuala Lumpur ini mempunyai lineamen yang berjurus 105° dan ditafsir sebagai sesar lateral kiri berdasarkan fitur-fitur geologi sekitarnya [13-16]. Zon sesar ini teranjak sejauh 20km menurut Tjia (1973) di sepanjang zon sesar yang mempunyai kelebaran 10km dan menganjur dari BBL-TTL [17]. Zon sesar ini juga merangkumi sesar-sesar Ulu Kelang, Bukit Tajoh, Ampang, Kongkoi dan Bukit Gasing [15, 18, 19]. Kelebarannya mengikut Gobbett (1964) ialah 15km dengan panjang 80km [14]. Manakala kelebarannya mengikut Stauffer (1968) ialah 30km yang bersambung dengan sesar Mersing di bahagian timur [15]. Menurut Stauffer (1968) lagi, zon lineamen ini dikesan dari Batu Arang hingga ke barat Endau seperti yang telah dicadangkan buat pertama kali oleh Mohamad Ayob (1968) [15, 20].

Sedangkan menurut Tjia (1972), sesar KL dan Mersing merupakan dua afiniti yang berbeza dari segi kelebaran dan jurus iaitu sesar KL dengan 15km lebar dengan jurus 280° - 300° manakala sesar Mersing mempunyai kelebaran sebanyak 20-40km dengan jurus 290° - 300° [21]. Ciri-ciri yang disebut di atas telah dibuktikan dengan cerapan RADARSAT, LANDSAT dan peta StereoSAR DEM [22]. Menurut Noraini & Tylor (2000), sejarah tektonik pembentukan sesar KL-Mersing ini bermula di zaman Jura Awal dan Tjia (1972) mengatakan sesar ini terus aktif sehingga ke zaman Eosen dengan berlakunya pergerakan menegak [22, 21]. Sesar KL terbentuk oleh aktiviti penyungkupan yang berlaku di zaman Trias Akhir akibat daripada

intrusi magma granit [23] yang menerobos masuk ke atas di antara batuan sedimen yang berusia Karbon Awal sehingga Trias Awal [24].



Rajah 2 Peta geologi kawasan kajian yang menunjukkan kedudukan sesar-sesar major dan batuan metasedimen berusia Mesozoik-Paleozoik [25]

1.3 Zon Sesar Bukit Tinggi

Zon sesar Bukit Tinggi yang berjurus BL-TG adalah sejenis sesar mendatar kiri yang terletak di utara zon sesar Kuala Lumpur [15]. Sesar ini boleh dikesan sehingga Kuala Kubu Bharu [18]. Berbanding dengan zon sesar KL, zon sesar Bukit Tinggi yang berbentuk lurus-lengkung adalah sangat jelas kelihatan di imej RADARSAT dan StereoSAR di sepanjang 120km [19]. Menurut Shu (1969), zon sesar ini terdiri daripada zon milonit, granit terich, granit berflaser dan telerang kuarza yang besar dengan panjang 110km [18]. Zon milonit ini terbentuk disebabkan oleh pengaktifan semula sesar Bukit Tinggi yang berusia Akhir Trias [26]. Zon sesar ini merupakan zon sesar mendatar yang bergerak di sepanjang jurus. Pengaktifan zon sesar Bukit Tinggi semasa Kenozoik telah menghasilkan sesar dan zon ricih dengan pergerakan ke arah kiri [11].

Berdasarkan kajian ke atas zon protomilonit pada km 32 Lebuh raya Karak, menunjukkan deformasi berjenis struktur mikroplastik yang berlaku pada suhu 450°C dan dipercayai terbentuk di Akhir Trias seusia dengan pembentukan granit sebelum penyejukan magma [11]. Pertindanan di antara canggaaan rapuh dan plastik di atas zon sesar mungkin menunjukkan zon sesar Bukit Tinggi telah mengalami beberapa episod pengaktifan semula jenis rapuh-mulur. Ini dibuktikan oleh penentuan usia sesar yang ditentukan oleh Zaiton (2002) melalui sampel milonit di Kuala Kelawang yang memberikan usia 83.6 Juta tahun iaitu Kapur Akhir [27].

1.4 Zon Sesar Seremban

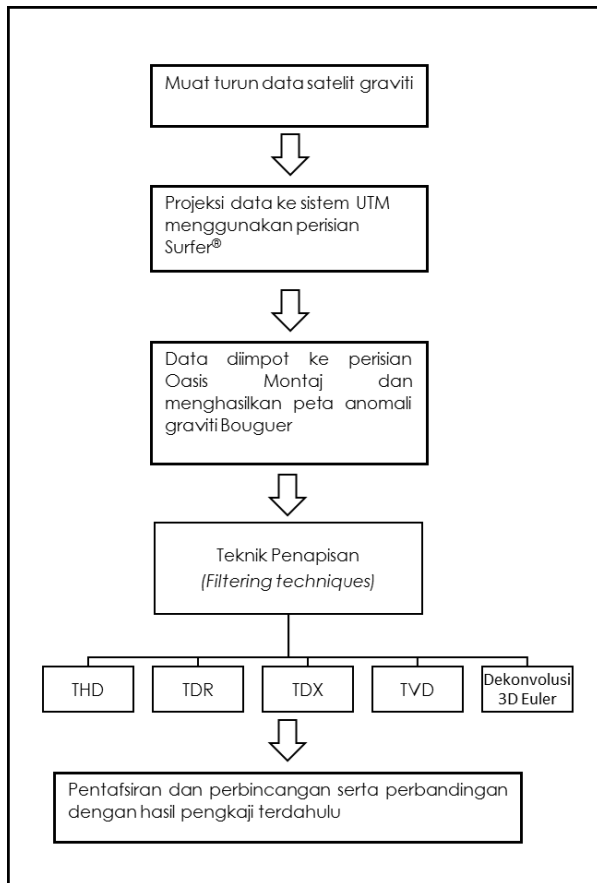
Zon sesar Seremban yang berjurus BL-TG terletak di selatan zon sesar KL. Berdasarkan imej RADARSAT, StereoSAT dan LANDSAT, zon sesar Seremban ini mempunyai ciri-ciri seperti zon sesar Kuala Lumpur iaitu, permukaan zon sesar ini tidak dapat dilihat dengan jelas, lebar dan tertabur [19]. Menurut beliau lagi, zon sesar ini memotong sebahagian daripada banjaran besar granit dan sambungan sesar di bahagian hujung barat berpecah kepada 3 ke 4 jalur sesar yang berbentuk lurus dan melengkung dan memotong metasedimen Paleozoik.

Sesar ini juga dapat dilihat dengan jelas berjenis sesar mendatar jurus jenis kiri. Sesar Seremban ini melebar dalam granit tetapi ditonjolkan sebagai tebing-tebing curam. Ia dapat dikesan dengan jelas dalam imej RADARSAT terutama di bahagian barat laut Gunung Ledang melalui Bahau terus ke Seremban. Zon sesar ini bertemu dengan sesar Pertang di bahagian utara sehingga bertemu dengan zon sesar Kuala Lumpur. Sesar Seremban ini berasosiasi dengan terumbu kuarza terutamanya di sekitar Pedas, Negeri Sembilan [28]. Sesar ini dicirikan oleh kehadiran milonit, granit terich dan zon breksi yang lebar.

2.0 METODOLOGI

Data satelit graviti yang merangkumi Selat Melaka sehingga Laut China Selatan telah dimuat turun dari laman sesawang *Earth Gravity Model 2008 (EGM 2008)*. Kesemua 298116 data graviti adalah merupakan data yang telah dilakukan pembetulan seperti latitud, udara bebas, pasang surut dan teren. Oleh itu, data ini tidak perlu untuk dibetulan dan boleh ditafsirkan secara langsung menggunakan perisian komputer. Pentafsiran telah dilakukan secara umum mewakili seluruh kawasan tetapi pengkhususan lebih terperinci disekitar zon sesar Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Seremban dengan keluasan 3990 km² yang terletak di 105.73°T–102.13°T longitud dan 2.91°U–3.37°U latitud (Rajah 2). Pentafsiran dimulai dengan projeksi data kepada sistem *Universal Traverse Mercator (UTM)* dengan bantuan perisian Surfer® untuk menukar unit longitud-latitud kepada unit meter (m).

Data ini kemudiannya di imput ke dalam perisian Oasis Montaj untuk menjalani beberapa rutin pengeditan seperti penapisan (*filtering*), seperti laluan frekuensi rendah dan tinggi, terbitan mendatar jumlah (*total horizontal derivatives, THD*), terbitan sudut kemiringan (*tilt angle derivatives, TDR*), terbitan mendatar sudut kemiringan (*horizontal tilt angle derivatives, TDX*), terbitan menegak jumlah (*total vertical derivatives, TVD*) dan diikuti dengan penapisan songsang Dekonvolusi 3D Euler untuk menonjolkan fitur-fitur geologi seperti sempadan sesar dan lain-lain [29]. Rajah 3 menunjukkan carta alir pemprosesan data bagi kajian ini.



Rajah3 Carta alir ringkasan pemrosesan data bagi kajian ini

Rumus matematik yang melibatkan penapisan jenis THD adalah seperti yang dinyatakan di bawah:

$$THD = \sqrt{\left[\frac{dg}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dg}{dy}\right]^2} \tag{1}$$

Dimana g ialah medan graviti pada arah x dan y [30] manakala rumus yang mewakili TVD yang juga sering digunakan untuk penentuan sempadan anomali geologi [9]. Thurston & Smith (1997), mentakrifkan TVD seperti rumus yang diberikan di bawah:

$$TVD = \sqrt{\left[\frac{dg}{dz}\right]^2} \tag{2}$$

Dimana, g ialah medan graviti pada arah z [5].

Cooper & Cowan (2004) menyatakan bahawa THD adalah merupakan medan keupayaan yang sering digunakan untuk menonjolkan sempadan anomali manakala TVD akan menghasilkan menyempitkan sempadan anomali lantas dapat menentukan kedudukan sumber jasad dengan lebih tepat [31]. Pengiraan medan keupayaan paduan termiring dan mendatar yang mewakili TDR dan TDX juga adalah merupakan beberapa kaedah untuk menyerlahkan anomali medan keupayaan [29, 32-

36]. Miller & Singh (1994) dan Verduzco *et al.* (2004), mentakrifkan sudut kemiringan sebagai

$$TDR = \tan^{-1} \left[\frac{dg/dz}{\sqrt{\left[\frac{dg}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dg}{dy}\right]^2}} \right] \tag{3}$$

Dimana, $\frac{dg}{dx}$ ialah kecerunan menegak (TVD) dan $\sqrt{\left[\frac{dg}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dg}{dy}\right]^2}$ ialah kecerunan mendatar (THD) [37, 29]. Terbitan sudut kemiringan (TDR) berubah dalam julat diantara: $+\pi/2 >$ sudut kemiringan $> -\pi/2$. Terbitan mendatar sudut kemiringan (TDX) telah diperkenalkan oleh Cooper & Cowan (2006), dimana TVD ialah kecerunan menegak jumlah dan THD ialah kecerunan mendatar jumlah [33]. TDX berubah dalam julat diantara: $+\pi/2 >$ sudut kemiringan $> -\pi/2$, tetapi yang menghasilkan kecerunan yang lebih tepat berbanding TDR. Rumus terbitan mendatar sudut kemiringan (TDX) adalah seperti yang diberikan di bawah;

$$TDX = \tan^{-1} \left[\frac{THD}{TVD} \right] \tag{4}$$

Penapisan songsang Dekonvolusi 3D Euler merupakan salah satu teknik untuk menghasilkan anggaran permulaan kedudukan dan kedalaman sumber graviti dan magnet [31]. Menurut Thompson (1982), teknik ini digunakan untuk menentukan kedalaman lokasi sumber graviti atau magnet di sesuatu kawasan kajian dan diaplikasikan untuk menentukan profile atau data bergrid untuk menyelesaikan persamaan kehomogenan Euler seperti yang diberikan dibawah;

$$(x - x_0) \frac{dF}{dx} + (y - y_0) \frac{dF}{dy} + (z - z_0) \frac{dF}{dz} = -N(F) \tag{5}$$

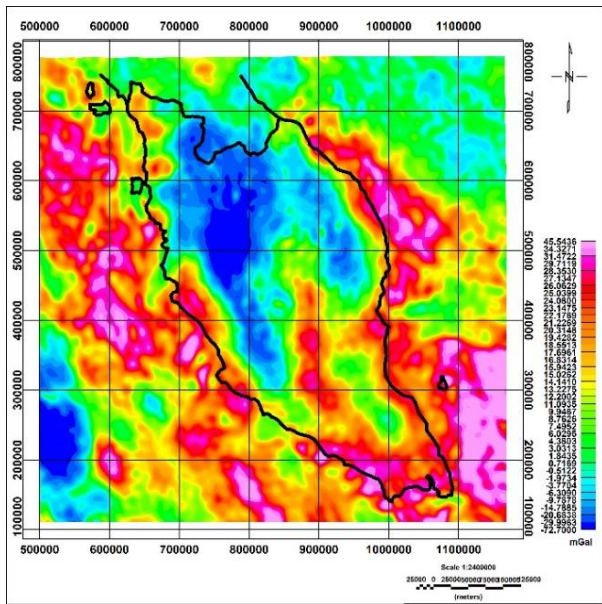
Dimana x_0 , y_0 , dan z_0 merupakan lokasi sumber kedalaman medan graviti anomali F yang diukur dalam unit kartesian pada x , y , z dan N adalah indeks struktur Euler (S_1) yang mewakili punca geometri sesuatu jasad [6].

3.0 HASIL DAN PERBINCANGAN

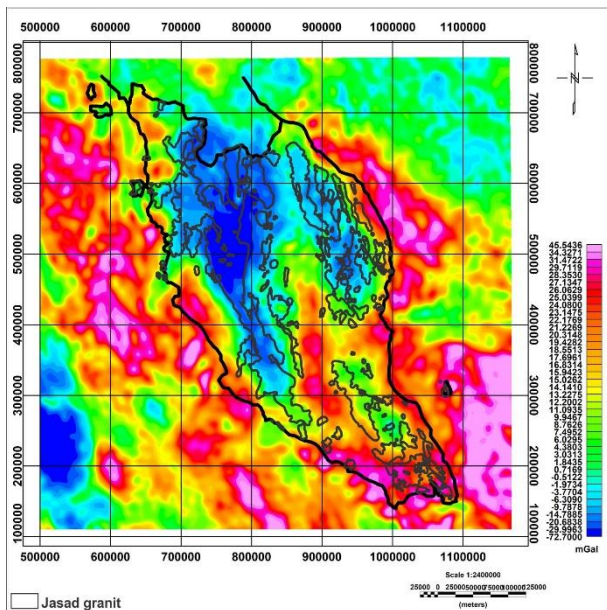
Dalam kajian ini, peta anomali graviti yang terdiri daripada anomali bouguer, anomali terbitan mendatar (THD), anomali terbitan menegak (TVD), anomali terbitan sudut kemiringan (TDR), anomali terbitan mendatar sudut kemiringan (TDX) yang mewakili Semenanjung Malaysia sahaja akan dibincang manakala perbincangan mengenai hasil teknik Dekonvolusi Euler 3D akan dibincangkan dengan lebih terperinci khususnya yang melibatkan zon sesar Kuala Lumpur, Bukit Tinggi dan Seremban.

Rajah 4 menunjukkan peta anomali bouguer dengan julat anomali dari -72.7 hingga 45.54 mGal. Pola julat anomali graviti ini kelihatan sepadan dengan kedudukan geografi banjaran utama dan

timur dengan julat anomali keseluruhan dari -72 hingga 2 mGal. Manakala jasad granit yang terletak di bahagian Johor mempunyai julat anomali yang lebih tinggi iaitu dari 9 hingga 25 mGal (Rajah 5). Manakala batuan sedimen Perm-Mesozoik yang terletak di antara dua banjaran itu mempunyai julat anomali graviti Bouguer diantara 2 hingga 25 mGal. Julat anomali graviti Bouguer yang mewakili banjaran utama dan timur adalah lebih rendah berbanding dengan jasad granit di bahagian selatan kerana kedudukan aras yang berbeza.



Rajah 4 Peta anomali Bouguer Semenanjung Malaysia

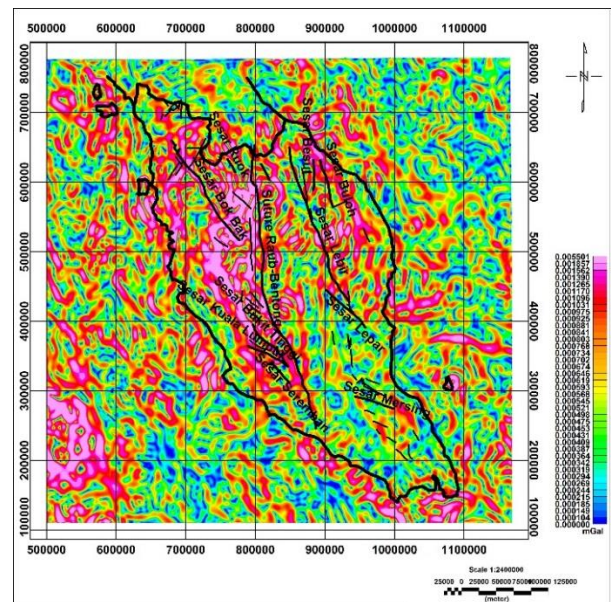


Rajah 5 Peta tindanan anomali Bouguer ke atas jasad granit yang menunjukkan kesepadanan yang baik

Hasil penapisan terbitan mendatar (THD) diberikan dalam Rajah 6. Peta ini menunjukkan anomali yang berjulat dari $0-5.5 \times 10^{-3}$ mGal dan mempunyai pola yang lebih fokus dan rencam serta terdiri dari jalur-jalur yang memanjang dan berkelebaran disekitar 2-10km hingga 100-250km. Jalur-jalur ini bertren dominan pada arah U-S dan BL-TGA yang mungkin ditafsirkan berasosiasi dengan pola struktur sesar dan retakan serta sempadan rejahan granit.

Tindanan antara peta sesar major dengan peta anomali THD jelas memperlihatkan padanan kedudukan Sutera Raub–Bentong (SRB) dengan jaluran graviti anomali tinggi yang berjulat dari $1.26 \times 10^{-3} - 5.5 \times 10^{-3}$ mGal. Oleh kerana SRB adalah sempadan antara intrusi granit utama dengan batuan sedimen Perm-Mesozoik yang mempunyai perbezaan ketumpatan yang besar, nilai anomali THD yang mewakili sempadan adalah tinggi.

Peta anomali THD juga menunjukkan padanan yang sangat baik dengan kedudukan sesar Lebir kerana sesar ini jugak memisahkan antara intrusi granit dengan batuan sedimen Perm-Mesozoik di bahagian timur. Oleh kerana sesar Seremban, Lepar dan Mersing berada di dalam granit maka kedudukan sesar-sesar tersebut tidak tertonjol dalam peta anomali THD yang ditindan di atas peta sesar. Fenomena yang sama juga dicirikan oleh kedudukan sesar Buluh dan Besut. Walau bagaimanapun sesar Bok Bak yang memisahkan granit bintang dengan batuan Paleozoik, kehadirannya dapat dikenalpasti sepadan dengan jalur bergraviti tinggi yang bertren BL-TGA sepanjang 175km.



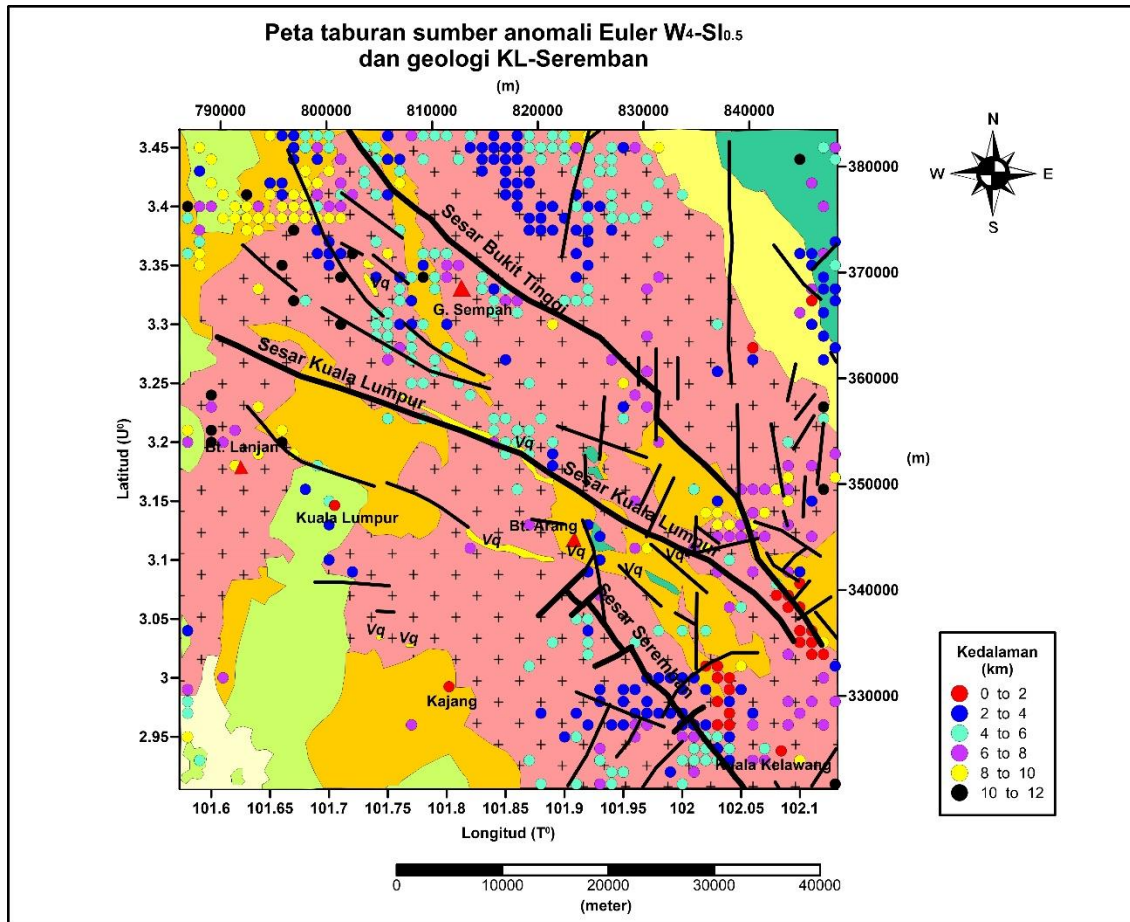
Rajah 6 Peta tindanan anomali THD ke atas peta sesar-sesar major

Rajah 7 menunjukkan peta anomali THD yang telah ditindan ke atas peta kedudukan jasad granit dan menunjukkan padanan yang hampir tepat di

3.1 Dekonvolusi 3D Euler

Dalam kajian ini, saiz tettingkap (*window*, *W*) 4 x 4 telah dipilih untuk ditafsir dengan indeks struktur (*SI*) 0.5 dalam menentukan padanan yang tepat terhadap garis-garis lineamen dengan sumber anomali Euler. Rajah 11 menunjukkan peta taburan sumber anomali Euler dengan *W* 4 x 4; *SI* 0.5 yang telah ditindan ke atas peta geologi kawasan kajian. Taburan titik-titik sumber kedalaman Euler dekonvolusi menunjukkan

konsentrasi yang padat di sekitar zon sesar Seremban, sempadan antara sesar Kuala Lumpur dan Bukit Tinggi, serta bahagian utara zon sesar Bukit Tinggi. Begitu juga, menunjukkan kepadatan sesar-sesar minor yang terdapat di zon-zon sesar major tersebut yang kebanyakannya terletak dalam batuan granit. Julat kedalaman sumber anomali Euler berkisar 0-12km dengan purata sekitar 5-6km.



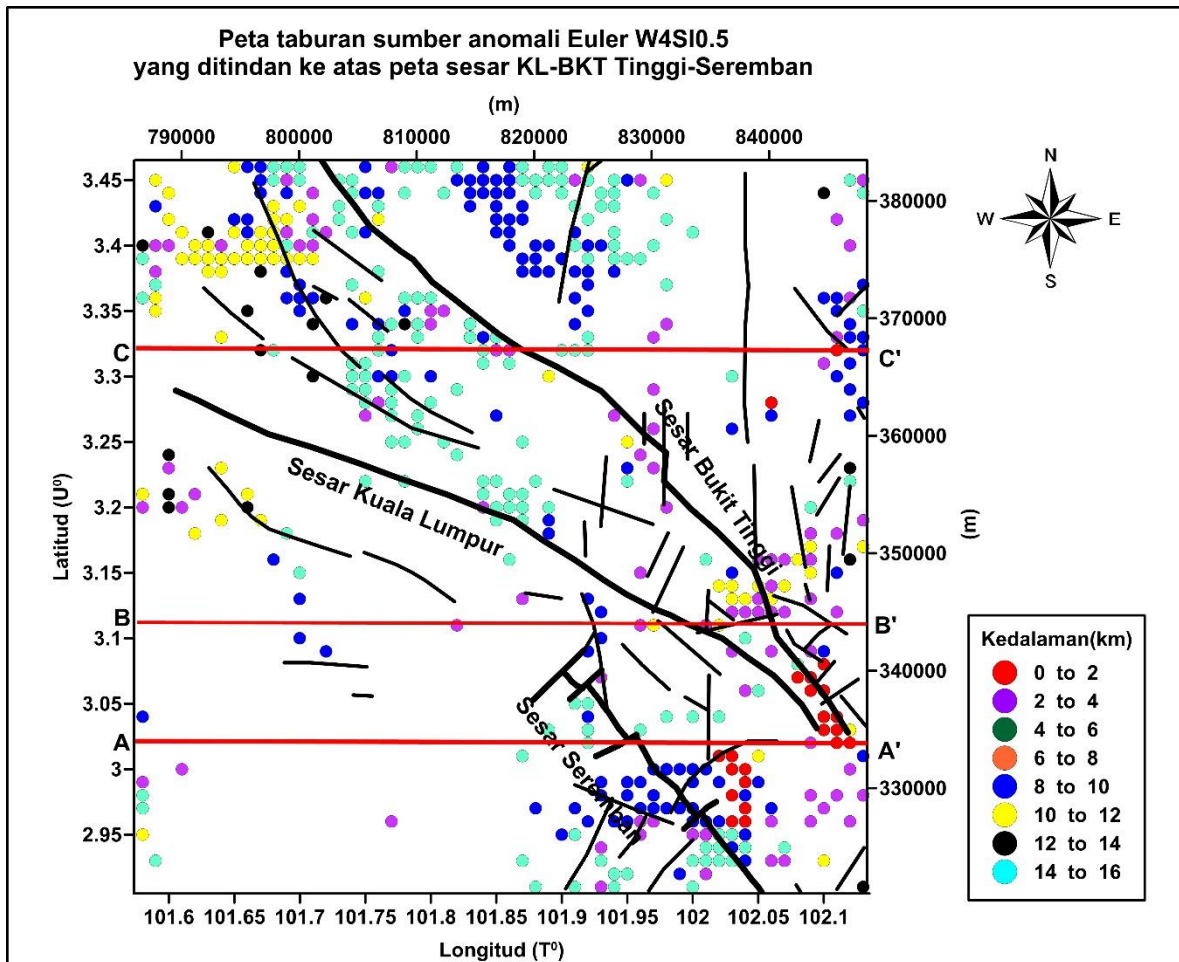
Rajah11 Peta taburan sumber anomali Euler $W_4-SI_{0.5}$ dan geologi KL-Seremban

Taburan sumber anomali juga tersusun berhampiran dengan jalur sesar itu sendiri terumatanya sesar Bukit Tinggi dan Seremban. Manakal taburan anomali di atas zon sesar Kuala Lumpur adalah sangat berkurang berbanding dengan zon sesar Bukit Tinggi dan Seremban. Titik anomali Euler yang terletak di atas jalur zon sesar Bukit Tinggi mempunyai julat kedalaman dari yang cetek di bahagian tenggara iaitu 0-2km kemudian bertambah ke arah barat laut dengan julat 4-8km. Manakala bagi zon sesar Seremban pula, sumber anomali yang terletak di atas jalur sesar mempunyai sumber kedalaman yang cetek dengan julat dari 2-6km. Zon

sesar Kuala Lumpur mempunyai julat kedalaman dari 4-6km di bahagian tengah jalur sesar.

3.2 Kedalaman dan Kemiringan Zon Sesar

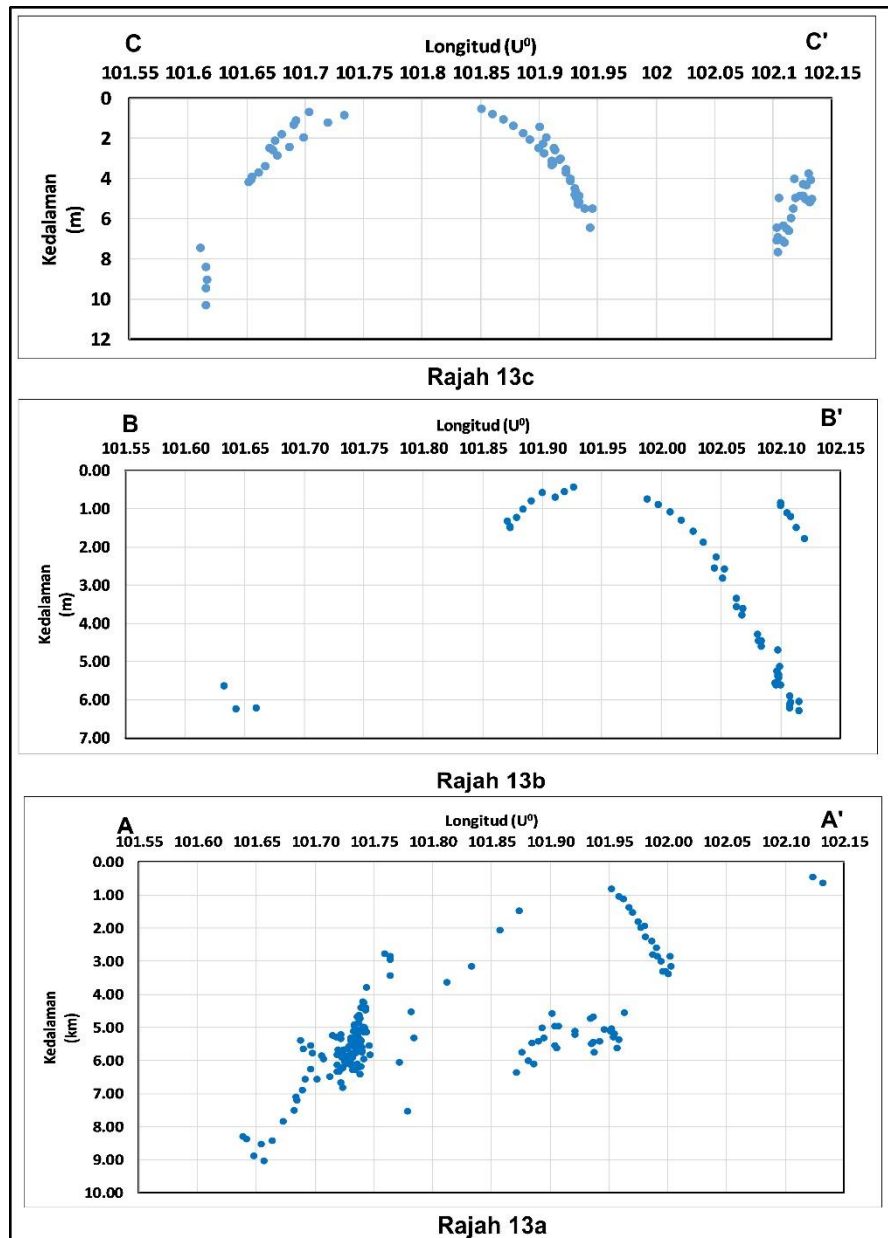
Keratan rentas sepanjang timur-barat telah dibina untuk mencerap kedudukan sesar-sesar major melalui kedudukan dan kedalaman serta kemiringan anomali Euler. Rajah 12 menunjukkan Peta taburan sumber anomali Euler dan kedudukan garis keratan rentas A-A', B-B' dan C-C'.



Rajah12 Peta taburan sumber anomali Euler dan kedudukan garis keratan rentas A-A', B-B' dan C-C'

Keratan rentas zon sesar Kuala Lumpur berada disepanjang garis lintang 3.1°U yang menganjur dari arah barat ke timur. Keratan rentas A-A' yang dibina disepanjang garis lintang 3.02°U merentasi zon sesar Seremban menunjukkan zon sesar itu mempunyai kedalaman 1-3.5km dengan kemiringan ke arah timur sebesar 25° (Rajah 13a). Keratan rentas B-B' sepanjang 135km ini, menunjukkan julat kedalaman

zon sesar KL dari 1 hingga 6.5km dengan sudut kemiringan 26° ke arah TL (Rajah 13b). Manakala keratan rentas C-C' memotong zon sesar Bukit Tinggi pada garis lintang 3.32°U menunjukkan kedalaman titik anomali Euler berjalat 0.5 hingga 6.5km juga miring ke arah utara sebesar 56° (Rajah 13c).



Rajah13 Menunjukkan keratan rentas kedalaman zon sesar Seremban A-A' (Rajah 13a); keratan kedalaman zon sesar Kuala Lumpur B-B' (Rajah 13b); keratan rentas kedalaman zon sesar Bukit Tinggi C-C' (Rajah 13c)

4.0 KESIMPULAN

Kaedah graviti pada umumnya dapat mencirikan lokasi sesar-sesar major terutamanya yang terletak di sempadan jasad granit dan batuan metasedimen dengan baik. Manakala kedudukan sesar yang terletak dalam jasad granit iaitu sesar yang lebih muda tidak dapat dicirikan dengan baik berdasarkan hasil teknik penapisan dari peta Bouguer. Kedudukan sesar major dapat dicirikan dengan baik dengan kaedah terbitan sudut kemiringan (*tilt angle derivatives, TDR*). Teknik penyongsangan dekonvolusi Euler 3D, dengan jaya dapat menentukan kedalaman dan kemiringan sumber anomali sesar-sesar major di bawah permukaan bumi. Taburan

sumber anomali yang padat di sekitar sesar-sesar major dan minor juga membuktikan keupayaan teknik ini dalam pencarian sesar-sesar minor.

Penghargaan

Setinggi-tinggi penghargaan kepada Program Geologi Universiti Kebangsaan Malaysia kerana memberi kebenaran menggunakan kemudahan di Program Geologi dan kepada *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)* kerana kemudahan memuat turun data bagi penyelidikan ini.

Rujukan

- [1] Lyatsky, H. V. 2010. Magnetic and Gravity Methods in Mineral Exploration: The Value of Well-Rounded Geophysical Skills. *CSEG RECORDER* 2010. 30-35.
- [2] Unternehr, P., G. Péron-Pinvidic, G. Manatschal, and E. Sutra, 2010. Hyper-extended Crust in the South Atlantic: In Search of a Model. *Petroleum Geoscience*. 16: 207-215. DOI: <https://doi.org/10.1144/1354-079309-904>.
- [3] Gosh, G. K., and Dasgupta, R. 2013. Edge Detection and Depth Estimation Using 3D Euler Deconvolution, Tilt Angle Derivative and TDX Derivative Using Magnetic Data of Thrust Fold Belt Area Of Mizoram. *10th Biennial International Conference & Exposition*. 1-7.
- [4] Bai, Y., Williams, S. E., Muller, R. D., Liu, Z., and Hosseinpour, M. 2014. Mapping Crustal Thickness Using Marine Gravity Data: Methods and Uncertainties. *Geophysics*. 79(2): 27-36. DOI: <https://doi.org/10.1190/geo2013-0270.1>.
- [5] Thurston, J. B. and Smith R. S. 1997. Automatic Conversion of Magnetic Data to Depth, Dip, and Susceptibility Contrast Using SPITM Method. *Geophysics*. 62: 807-813. DOI: <http://dx.doi.org/10.1190/1.1444190>.
- [6] Thompson, D. T. 1982. EULDPH: A New Technique for Making Computer-assisted Depth Estimates from Magnetic Data. *Geophysics*. 47: 31-37. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1441278>.
- [7] Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., and Somerton, I. W., 1990. Magnetic Interpretation in Three Dimensions Using Euler Deconvolution. *Geophysics*. 55: 80-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.1190/1.1442774>.
- [8] Zhang, C., Mushayandebvu, M. F., Reid, A. B., Fairhead, J. D., and Odegard, M. E. 2000. Euler Deconvolution Of Gravity Tensor Gradient Data. *Geophysics*. 65: 512-520. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1444745>.
- [9] Cooper, G. R. J. 2004. Euler Deconvolution Applied to Potential Field Gradients. *Exploration Geophysics*. 35: 165-170. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/EG04165>.
- [10] Hill, P., Vankey, B., Langenheim, V. 1997. Introduction to Potential Fields: Magnetics. *USGS*.
- [11] Ng Tham Fatt. 1994. Microstructures of the Deformed Granites of Eastern Kuala Lumpur-Implications for Mechanisms and Temperatures of Deformation. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin*. 35: 47-59.
- [12] Mustaffa Kamal Shuib. 2009. Major Faults (in) Hutchison, C.S and Tan, D. K. 2009 Geology of Peninsular Malaysia. Geological Society of Malaysia. 252.
- [13] Alexander, J. B. 1968. Geology and Mineral Resources of the Bentong Area, Pahang. *Geological Survey of West Malaysia District Memoir*. 8: 250.
- [14] Gobbet, D. J. 1964. The Lower Paleozoic Rocks of Kuala Lumpur, Malaysia. *Fedn. Mus. J.* 9: 67-69.
- [15] Stauffer, P. H. 1968. The Kuala Lumpur Fault Zone: A Proposed Major Strike-slip across Malaya. *Geological Society of Malaysia Newsletter*. 15: 2-4.
- [16] Zaiton Harun. 1992. Anatomi Sesar-sesar Utama Semenanjung Malaysia. Tesis Doktor Falsafah. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi (tidak diterbitkan).
- [17] Tjia, H. D. 1973. Displacement Patterns of Strike-slip Faults in Malaysia-Indonesia-Philippines. *Geo. Minjbouw*. 52(1): 21-30.
- [18] Shu, Y. K. 1969. Some NW Trending Fault Zones in the Kuala Lumpur and Other Areas. *Geol. Soc. Malaysia Newsletter*. 17: 1-5.
- [19] Mustaffa Kamal Shuib. 2009. Major Faults (in) Hutchison, C.S and Tan, D. K. 2009 Geology of Peninsular Malaysia. Geological Society of Malaysia. 260-262.
- [20] Mohamad Ayob. 1968. Stratigraphy and Sedimentology of the Tembeling Formation in the Gunung Berantai Area, Pahang. M.Sc. Thesis. Dept. of Geology, University of Malaya (Unpublished).
- [21] Tjia, H. D. 1972. Strike-slip Faults in West Malaysia. 24th *International Geological Congress, Montreal, Canada, Section 3 Tectonics*. 255-262.
- [22] Norcaini Surip & Tylor, G. 2000. StereoSAR DEM for Mappinh of Geological Structures in Selangor, Malaysia. *Geological Society of Malaysia Annual Conference 2000*. 399-403.
- [23] Tjia, H. D. 1977. Western Extension of the Kuala Lumpur Fault Zone. *Geological Society of Malaysia Bulletin*. 8: 123-125.
- [24] Burton, C. K. 1965. Wrench Faulting In Malaya. *Journal of Geology*. 73: 781-798.
- [25] Peta Geologi Semenanjung Malaysia. 2014. Jabatan Mineral dan Geosains. Edisi ke-9.
- [26] Ng. T. F. 1992. Petrology, Structures and Geotechnical Studies of the Kuala Lumpur Granite, Eastern Part of Kuala Lumpur, Peninsular Malaysia. M. Phil Dissertation, Univ. Malaya. (Unpublished)
- [27] Zaiton Harun. 2002. Late Mesozoic-Early Tertiary Faults of Peninsular Malaysia. Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference 2002. *Geol. Soc. Malaysia Bull.* 45. 117-120.
- [28] Khalid Ngah & Derksan, S. J. 1971. Geology of the Eastern Half of Sheet 103. *Geological Survey of Malaysia Annual Report*. 81-90.
- [29] Verduzco, B., J. D. Fairhead, C. M. Green, and C. MacKenzie, 2004. New Insights into Magnetic Derivatives for Structural Mapping. *The Leading Edge*. 23: 116-119. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1651454>.
- [30] Cordell, L., and Grauch, V. J. S. 1985. Mapping Basement Magnetization Zones from Aeromagnetic Data in the San Juan Basin, New Mexico, In Hinze, W. J., Ed. The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps. *Soc. Expl. Geophys.* 181-197. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.0931830346.ch16>.
- [31] Cooper, G. R. J., and D. R. Cowan. 2004. Filtering Using Variable Order Vertical Derivatives. *Computers & Geosciences*. 30: 455-459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.001>.
- [32] Cooper, G. R. J. 2013. Reply to a Discussion about the Hyperbolic Tilt Angle Method by Zhou *et al.* *Computers & Geosciences*. 52: 496-497. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.007>.
- [33] Cooper, G. R. J., and D. R. Cowan. 2006. Enhancing Potential Field Data Using Filters Based On The Local Phase. *Computers and Geosciences*. 32: 1585-1591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.016>.
- [34] Cooper, G. R. J., and D. R. Cowan. 2008. Edge Enhancement of Potential-field Data Using Normalized Statistics. *Geophysics*. 73(3): H1-H4. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.2837309>.
- [35] Ghosh, G. K. 2016. Interpretation of Gravity Data using 3D Euler Deconvolution, Tilt Angle, Horizontal Tilt Angle and Source Edge Approximation of the North-West Himalaya. *Acta Geophysica*. 64(4): 1112-1138. DOI: <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0042>.
- [36] Ferreira, J. F. F., J. de Souza, B. Alessandra, S. Bongiolo, and L.G. de Castro. 2013. Enhancement of the Total Horizontal Gradient of Magnetic Anomalies Using the Tilt Angle. *Geophysics*. 78(3): 33-41. DOI: <https://doi.org/10.1190/geo2011-0441.1>.
- [37] Miller, H. G. and Singh, V., 1994. Potential Field Tilt – A New Concept for Location of Potential Field Sources. *Journal of Applied Geophysics*. 32: 213-217. DOI: [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1).