



Analisis dan Model Inversi Gaya Berat 2D untuk Penampakan Sesar Palu Koro Di Sulawesi Tengah Indonesia

Analysis and 2D Gravity Inversion Model for the Appearance of the Palu Koro Fault in Central Sulawesi, Indonesia

Jamidun^{1*}, M.Rusydi¹, Kirbani SB.², Subagio P.³ Wiwit Suryanto²

¹Lab. Geofisika Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Tadulako

²Lab.Geofisika Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada

³Lab. Geodinamika Jurusan Geologi Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Analysis and modeling of the geological structure of Sulawesi Island, particularly the Central Sulawesi region, is very interesting because it has high complexity as a result of the dynamic interaction of the three main plates of the world. The three plates are the Australian Indian plate, the Pacific plate and the Eurasian plate which in their movements meet each other which results in this area experiencing active deformation of the earth's crust. One form of deformation from dynamic motion is the formation of the Palu Koro fault. The method used to assess the fault is the gravity method. The results obtained indicate that the Palu Koro fault is a normal and shear sliding fault. The subsurface fracture model is in accordance with the appearance of the topographic morphology of the study area. The subsurface structure part has undergone strong deformation where all the structural models are in the form of secondary structures, no primary structures are found anymore. Also found intrusive rocks range from two to three intrusions that are seen in AA incisions. The rock formations are six types, namely alluvium rocks, pakuli formations, latimojong formations, wana complexes, gumbasa complexes and intrusive rocks.

Keywords: Geological structure, Koro Hammer Fault, gravity method, incision model, formation

ABSTRAK

Analisis dan modeling mengenai struktur geologi Pulau Sulawesi khususnya wilayah Sulawesi Tengah sangat menarik sebab memiliki kompleksitas yang tinggi sebagai akibat interaksi dinamis dari tiga lempeng utama dunia. Ketiga lempeng tersebut yakni lempeng India Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia yang dalam pergerakannya saling bertemu yang mengakibatkan daerah ini mengalami deformasi kerak bumi yang aktif. Salah satu bentuk deformasi dari gerakan dinamik adalah terbentuknya sesar Palu Koro. Metoda yang digunakan untuk mengkaji sesar tersebut digunakan metoda gayaberat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sesar Palu Koro merupakan sesar geser mengiri dan normal. Model patahan bawah permukaan sesuai dengan penampakan morfologi topografi daerah

Corresponding Author : Neng Pembim@untad.ac.id (ph/fax: +62-451-97896)

penelitian. Bagian struktur bawah permukaan telah mengalami deformasi yang kuat dimana semua model strukturnya berbentuk struktur sekunder tidak ditemukan lagi struktur primer. Didapatkan pula batuan intrusi berkisar dari dua sampai tiga intrusi yang terlihat pada sayatan AA'. Formasi batuanannya berjumlah enam jenis, yaitu batuan aluvium, formasi pakuli, formasi latimojong, kompleks wana, kompleks gumbasa dan batuan intrusi.

Kata Kunci: Struktur geologi, Sesar Palu Koro, metoda gayaberat, model sayatan, formasi

LATAR BELAKANG

Kajian mengenai struktur geologi Pulau Sulawesi khususnya wilayah Sulawesi Tengah sangat menarik sebab memiliki kompleksitas yang tinggi sebagai akibat interaksi dinamis dari tiga lempeng utama dunia. Ketiga lempeng tersebut yakni lempeng India Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia yang dalam pergerakannya saling bertemu yang mengakibatkan daerah ini mengalami deformasi kerak bumi yang aktif. Proses deformasi ini juga mendapat efek penguatan oleh gaya-gaya tektonik regional yang ada di dan sekitar daerah ini sebagai hasil dari bentukan gerak lempeng utama, yakni pergerakan beberapa lempeng mikro seperti benua mikro Buton (Tukang besi), benua mikro Banggai-Sula, lempeng laut Sulawesi serta pemekaran selat Makassar yang masih terus berlangsung.

Akumulasi dari pergerakan lempeng utama dan mikro ini menyebabkan tingkat aktifitas seismisitas yang tinggi. Aktifitas ini sebagai efek dari resultan gaya-gaya tektonik yang melahirkan penimbunan energi dan akan dilepaskan secara tiba-tiba sebagai gempa dengan beragam kekuatan

yang menandakan sebagai wujud adanya proses deformasi. Indikasi adanya aktifitas seismik yang tinggi dan proses deformasi di wilayah Sulawesi Tengah dapat dijumpai dari penampakan morfologinya dan aktifitas beberapa sesar yang ada seperti sesar Palu-Koro, sesar Janedo, dan sesar Poso.

Studi tentang aktifitas sesar yang ada di daerah ini khususnya sesar Palu Koro telah mengundang beberapa peneliti untuk mengkajinya. Hal ini dapat dilihat dari hasil publikasih yang ada yakni Sudradjat, A. (1981) yang menyelidiki tentang geologi lembah Palu, Rusydi, M.H. (2011) Identifikasi dan pemetaan objek rawan gempa bumi di Graben Palu dengan analisa Citra Satelit. Efendi, R (2012) yang mengkaji identifikasi zona fraktur sesar Palu Koro dengan metoda Gradien Gravitasi, Abdullah (1998) Pemodelan 2-D Struktur Sesar Palu Koro dengan teknik model Talwani.

Berbagai hasil riset tentang sesar Palu Koro yang telah dipublikasi belumlah menjawab semua permasalahan yang ada, disini masih menyisahkan berbagai pertanyaan antara lain bagaimana profil

struktur sesar Palu Koro, karakteristiknya termasuk Graben lembah Palu dan posisi garis lintasan Sesar? Untuk menjawab semua pertanyaan ini tentunya haruslah dilakukan kajian lebih jauh dengan menggunakan metoda geofisika. Dalam penyelidikan struktur geologi (sesar) untuk bagian yang tidak nampak karena berada di bawah permukaan umumnya semua metoda geofisika dapat digunakan, namun penggunaannya/pemilihan metoda tentunya disesuaikan dengan tipe sesarnya. Tipe sesar ini dapat diperoleh melalui informasi awal hasil riset sebelumnya atau bisa juga diperoleh dari indikasi awal sesuai kondisi yang ada di lapangan. Untuk penyelidikan sesar Palu Koro berdasarkan beberapa hasil riset tersebut di atas maka dipilih menggunakan metoda geofisika Gaya berat. Pemilihan metoda ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yang utama adalah metoda gaya berat memiliki jangkauan penetrasi pengukuran yang dalam dan mampu memodelkan struktur sesarnya serta praktis dalam pengukuran di lapangan.

Beberapa tujuan yang hendak dicapai dalam kajian ini adalah memodelkan struktur sesar Palu – Koro, dalam struktur ini ingin melihat bagaimana profil struktur primer dan sekundernya, menentukan karakteristiknya. Manfaat yang dapat diperoleh dari kajian ini antara lain selain memberikan kontribusi pada penambahan informasi khususnya Sesar Palu-Koro juga

menjadi bahan informasi (data base) penting dalam mendukung perencanaan pengembangan wilayah sesuai kemanfaatan dan dukungan kondisi geologi daerah setempat karena memperhatikan aspek mitigasi kebencanaannya.

BAHAN DAN METODE

Dalam studi ini idealnya dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan serta melakukan pengukuran terhadap 3 hal penting di lapangan terkait dengan pengukuran gayaberat, yaitu nilai bacaan alat gravimeter, elevasi dan posisi setiap stasion (titik) pengukuran. Pada pengukuran ini menggunakan peralatan:

1. Gravimeter yang digunakan untuk mengukur medan gayaberat
2. Elevasi setiap stasion diukur dengan altimeter atau GPS
3. Posisi geografis setiap stasion diukur dengan alat Global Positioning System (GPS).

Pelaksanaan Pengukuran

Sebelum melakukan pengukuran dilapangan terlebih dahulu dilakukan desain titik pengukuran dalam lingkup area yang akan dijadikan target daerah penelitian. Langkah ini dilakukan agar sedapat mungkin dapat menghindari kesalahan-kesalahan pengukuran dilapangan. Seperti penentuan jumlah dan lokasi base stasion pengukuran, jarak antar

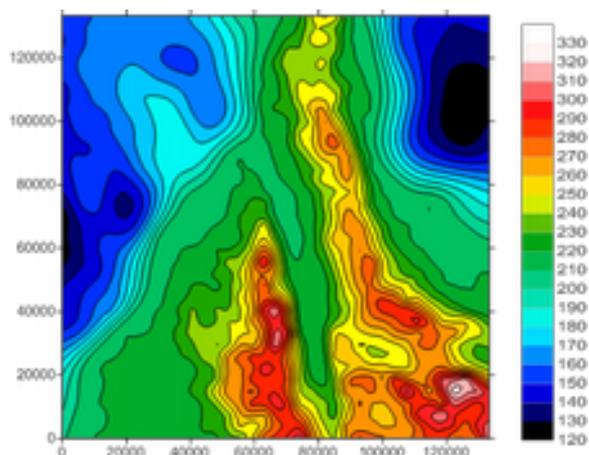
base stasion, penentuan titik ikat dan sebagainya. Karena dalam studi ini menggunakan data sekunder yang didownload dari program *icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM* maka pengukuran lapangan seperti di atas tidak dilakukan.

HASIL

Hasil dari penelitian ini ditampilkan dalam bentuk peta yang dimuat pada bagian akhir (dalam lampiran) dari artikel ini. Secara Keseluruhan menampilkan peta Topografi dan Batimetri Overlay dengan nilai medan gravitasi daerah Penelitian. Anomali Bouguer lengkap dibidang datar Anomali medan gravitasi residual dan regional serta Peta Anolamali Gravitasi untuk Sayatan AA'.

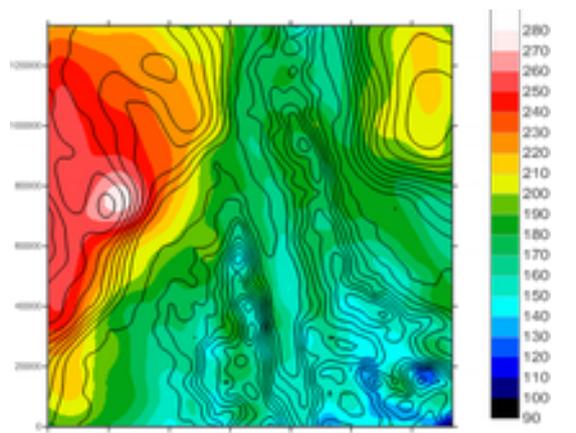
PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran batimetri dan topografi serta data nilai percepatan gravitasi didownload dari hasil program *icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM* dengan mengambil area lintang : - 0⁰12' s/d - 1⁰4' LS dan bujur : 119⁰0' s/d 120⁰4' BT Selanjutnya koordinat pengukuran dikonversi dari derajat ke dalam bentuk meter (UTM). Kemudian data batimetri dan topografi diproses dalam software Surfer 11 yang hasilnya dibuat dalam peta seperti ditunjukkan oleh (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Batimetri dan Topografi

Berdasarkan data yang diperoleh bahwa rata-rata kedalaman batimetrinya adalah -1005,64 m dan yang terdalam adalah -2487,0 m yang berada di teluk Tomoni dan selat Makassar sedangkan ketinggian rata-rata topografinya adalah 610,55 m dan yang tertinggi adalah 2319 m yang berada di daerah pegunungan arah timur sesar Palu Koro pada Peta anomali bouguer lengkap (ABL) di topografi ditunjukkan pada Gambar 2. Peta anomali ini dibuat dalam software surfer 11, kemudian dioverlayer dengan peta batimetri topografi (Gambar 2). Garis-garis hitam adalah kontur batimetri dan topografi sedangkan penampakan pencitraan dalam peta merupakan kontur anomali bouguer lengkap. Melalui hasil overlayer dua parameter fisis di atas nampak bahwa kontur topografi yang rapat menunjukkan daerah kemiringan yang relatif tajam, ini mengindikasikan penampakan sesar secara fisual dari sisi morfologinya.

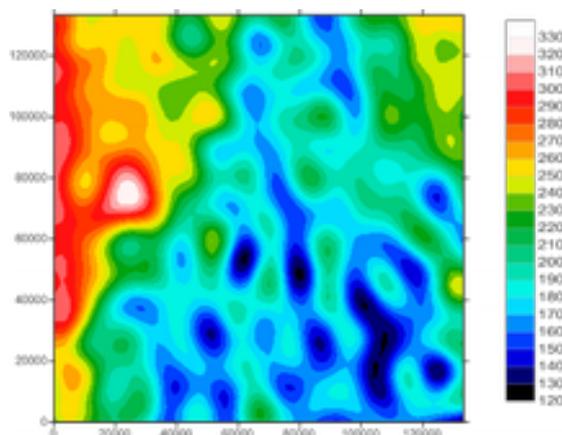


Gambar 2. Peta ABL di Topografi Overlayer Batimetri-Topografi

Sedangkan dari penampakan kontur anomali bouguernya tidak begitu jelas memperlihatkan adanya indikasi sesar, ini disebabkan oleh ukuran jarak antar titik pengamatan yang relatif besar yaitu 3700 m sehingga sulit untuk mendapatkan perubahan kontras anomali dalam jarak yang relatif kecil.

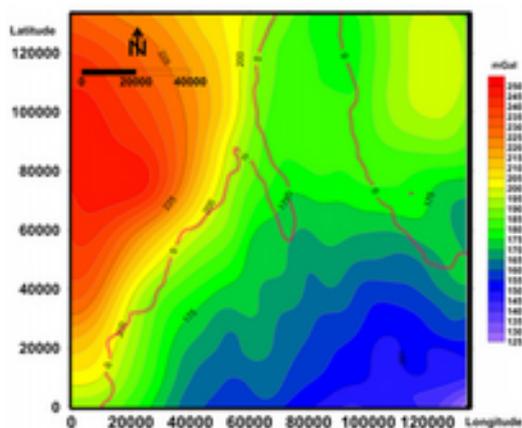
Peta anomali bouguer lengkap di topografi selanjutnya dilakukan pengangkatan ke bidang datar berdasarkan teori Dampney. Pengangkatan ini mengambil ketinggian bidang datar sebesar - 2319 m (tanda minus arah ke atas) dengan melakukan pemilihan kedalaman bidang ekuivalen 16.000 m memperlihatkan pola anomali rendah berupa spot-spot warna biru di daerah yang luas di daratan sedangkan di daerah bagian laut tetap memperlihatkan pola nilai anomali bouguer yang tinggi yang

ditunjukkan oleh warna putih, kuning, orange dan merah (Gambar 3).



Gambar 3. Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) di Bidang Datar

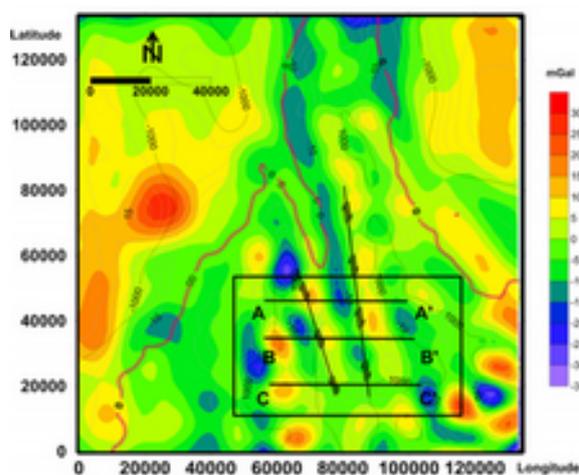
Nilai anomali bouguer lengkap pada bidang datar masih merupakan nilai anomali bouguer total. Selanjutnya dilakukan kontinuitas ke atas sampai pada ketinggian tertentu dengan melakukan pemilihan hingga pengaruh anomali lokalnya hilang, yaitu pada ketinggian 7000 m, yang tersisa adalah tinggal anomali regional yang merupakan pengaruh dari faktor-faktor material bawah permukaan yang dalam. Peta anomali regionalnya ini ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Anomali Regional Daerah Penelitian

Pada anomali regional ini tidak lagi menampilkan spot-spot pada anomalnya karena sudah dihilangkan atau difilter sehingga yang nampak pola kontur anomali yang smoot, ini menunjukkan bahwa anomali oleh faktor lokal sudah dihilangkan. Penampakan peta anomali regional yang memperlihatkan nilai anomali rendah pada daerah yang luas demikian pula dengan anomali sedang dan tinggi yang diperlihatkan oleh warna hijau kuning dan merah menginformasikan bahwa inilah nilai anomali gayaberat kerak bumi daerah penelitian dan sekitarnya untuk bagian yang dalam tanpa adanya pengaruh anomali lokal. Melalui peta ini pula diperoleh informasi bahwa kerak samudra memiliki percepatan gravitasi yang tinggi 275 mgal sedangkan di bagian kontinen (daratan) memiliki nilai percepatan gravitasi yang lebih rendah 135 mgal.

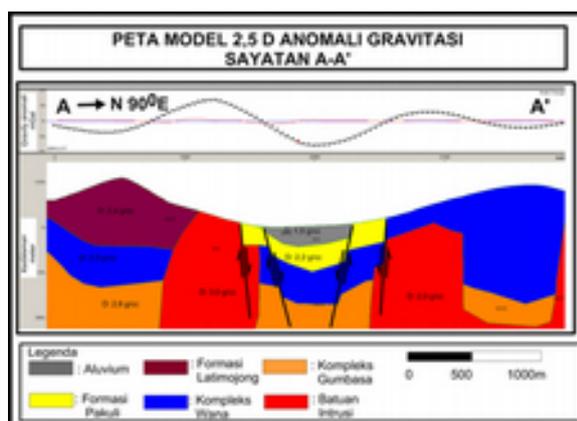
Peta anomali lokal Gambar 5 diperoleh dari selisih hasil pengurangan nilai anomali bouguer lengkap pada bidang datar dengan nilai anomali bouguer regional. Penampakan peta anomali residual yang menunjukkan adanya spot spot warna merah dengan nilai anomali tinggi mengindikasikan adanya batuan padat (intrusi) yang menerobos kepermukaan.



Gambar 5. Anomali Residual Daerah Penelitian

Adapun teknik pembuatan model sayatan untuk bawah permukaan diawali melalui pembuatan sayatan dengan cara digitize pada peta kontur anomali Bouguer yang akan didigitize selanjutnya data hasil digitize dibuat model forwardnya pada program oasis montaj kemudian dilakukan inversi. Teknik Inversi yang digunakan dalam program oasis montaj adalah inversi SVD.

Dua garis lintasan sesar yang mengapit daerah graben Palu sebagaimana yang terindikasi pada kontur topografi terkonfirmasi kebenarannya, bahwa indikasi adanya sesar dari penampakan morfologi topografinya adalah dibenarkan juga oleh hasil model sayatan penampang bawah permukaan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Anomali Gravitasi Sayatan AA' (error : 0,577)

Model penampang bawah permukaan hasil sayatan oleh Gambar 6 diperoleh kedalaman terukur batuan adalah sebagai berikut: kedalaman sayatan AA' 2,552 km. Pada penampang AA' jarak antara sesar sebesar 11,54 km. Kemiringan sesar hasil sayatan juga mengindikasikan sesuai dengan hasil penelitian pemodelan penampang sesar menurut nilai resistivitas dengan metoda geolistrik oleh Marjiyono (2013). Namun hasil pemodelan resistivitas tersebut masih terbatas jangkauannya ke bawah permukaan yang hanya sedalam kurang lebih 70 m. Selain itu dalam

pemodelan resistivitas tidak memperlihatkan hasil model yang menghubungkan antara dua sesar yang mengapit graben Palu. Hasil model sayatan penampang bawah permukaan ini menunjukkan pula bahwa sesar Palu Koro tidaklah murni hanya sesar geser mengiri tetapi juga memperlihatkan ia sesar normal.

Berdasarkan model struktur bawah permukaan menunjukkan bahwa daerah sekitar sesar Palu Koro secara geodinamik mendapat tekanan yang besar. Penilaian ini terlihat dari model struktur bawah permukaan yang tidak memperlihatkan lagi struktur primer, semua perlapisannya terlihat telah mengalami gangguan tekanan yang kuat tidak ditemukan lagi lapisan batuan yang terbentuk secara horizontal sebagaimana teori pembentukan lapisan.

Karakteristik sesar Palu Koro selain sesar geser mengiri juga sebagai sesar normal yang ditunjukkan oleh adanya penurunan segmen Graben Palu. Model sesar utama yang mengapit graben Palu adalah sesuai dengan penampakan morfologi permukaan daerah tersebut. Selain dua sesar utama di kiri kanan graben Palu terdapat pula sesar – sesar kecil di sekitarnya, maka dengan demikian Sesar Palu Koro dapat disimpulkan sebagai sistem sesar bukan sesar tunggal.

Jenis batuan bawah permukaan ketiga sayatan masing-masing terdiri atas: Nilai anomali bouguer lengkap pada bidang datar masih merupakan nilai anomali bouguer total. Selanjutnya dilakukan kontinuitas ke atas sampai pada ketinggian tertentu dengan melakukan pemilihan hingga pengaruh anomali lokalnya hilang, yaitu pada ketinggian 7000 m, yang tersisa adalah tinggal anomali regional yang merupakan pengaruh dari faktor-faktor material bawah permukaan yang dalam. Peta anomali regionalnya ini ditunjukkan oleh Gambar 3.

Pada anomali regional ini tidak lagi menampilkan spot-spot pada anomalnya karena sudah dihilangkan atau difilter sehingga yang nampak pola kontur anomali yang smoot, ini menunjukkan bahwa anomali oleh faktor lokal sudah dihilangkan. Penampakan peta anomali regional yang memperlihatkan nilai anomali rendah pada daerah yang luas demikian pula dengan anomali sedang dan tinggi yang diperlihatkan oleh warna hijau kuning dan merah menginformasikan bahwa inilah nilai anomali gayaberat kerak bumi daerah penelitian dan sekitarnya untuk bagian yang dalam tanpa adanya pengaruh anomali lokal. Melalui peta ini pula diperoleh informasi bahwa kerak samudra memiliki percepatan gravitasi yang tinggi 275 mgal sedangkan di bagian kontinen (daratan) memiliki nilai

percepatan gravitasi yang lebih rendah 135 mgal.

Sayatan AA' terdapat 6 jenis batuan yaitu batuan aluvium, formasi Pakuli, formasi Latimojong, kompleks Wana, kompleks Gumbasa dan batuan intrusi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih Kepada Pihak DP2M Dikti yang telah mendanai. Kepada Kepala Laboratorium Geofisika UGM DR. Budi Eka, M.Si dan stafnya yang telah membantu dalam Peminjaman dan penggunaan peralatan Lab. Teman Studi, Aryono, Hiden, Muhammad Zuhdi, Firgo, Syamsuddin yang semuanya merupakan teman diskusi dan seperjuangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah (1998). *Penerapan Metode Gradien Gayaberat dan Analisis Model 2-D Struktur Sesar Palu Koro dan Sesar Janedo Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah*, Tesis ITB, Bandung.
- Blakely, R. J. (1995). *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*, Cambridge University Press.
- Efendi, R., Setianingsih, Gunawan A.K., Alawiyah, S., Abdullah, C.I., Santoso, D. (2012). *Gravity gradient technique to identify fracture zones in Palu Koro*

- strike-slip fault, *Procedia Environmental Sciences*, Elsevier,
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of Indonesian Region*, Geol. Surv. Paper, U.S. Govt. Print. Off, Washington, D.C.
- Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilano, E., Asrurifak, S .M., Ridwan, M. (2010). *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*.
- Kadir, W.G.A., Zen, M.T., Hendrajaya, L., Santoso, D. and Sukmono, S., (1996). *3D Deconvolution of Gravity Anomalies*, Proc. of International Geophysical Conference and Exposition '95, Jakarta
- Katili, J.A., (1970). *Large Transcurrent Faults in Soutest Asia With Special Reference To Indonesia*, Geol.Rundsh, Vol. 59 (2), 581-600.
- Kirbani, S.B, (2001). *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika: Metode Gravitasi*, Laboratorium Geofisika Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Marjiyono (2013). *Struktur Geologi Bawah Permukaan Dangkal Berdasarkan Interpretasi Data Geofisika*, Studi Kasus Sesar Palu Koro.
- Plouf, D. (1976). *Gravity and magnetic field of polygonal prism and application to magnetic terrain corrections*, *Geophysics*, 41, 727-741
- Pramumijoyo, S., Widiwijayanti,C., dan Indarto,S. (1995). *Neotektonik Daerah Sesar Palu Koro, Sulawesi*, Submitted to *Bulletin Geol. Soc.of Malaysia*, 1-2.
- Rusydi, H. M. (2011). *Pengembangan Metode Aplikasi Citra Multispektral untuk Kajian Resiko Bencana Gempa Bumi di Graben Palu*, Disertasi UGM, Yogyakarta.
- Sopaheluwakan, Y, Pramumijoyo, S., Priadi, B., Sukarna, J., Utoyo, H., Sucipta, E. dan Sudarsono (1997). *Deformasi Kerak Bumi Sesar Aktif Palu Koro Sulawesi Tengah, Magmatisme Neogen, Dan Hubungannya Dengan Kegempaan Dan Mineralisasi*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta
- Sudradjat, A. (1991). *Penerapan Teknik Pengindraan Jauh dalam Penyelidikan Geologi Lembah Palu Sulawesi Tengah*, Disertasi, ITB, Bandung.
- Tjia, H.D., and Zakaria, T.H., (1974). *Palu-Koro Strike Slip Fault Zone, Sulawesi, Indonesia*, *Sains Malaysia*, Vol. 3, 67-88.

Waluyo (1992). *Seismotectonics of Eastern Indonesian Region, Dissertation, Saint Louis University, USA.*

George, E, F. (1993). *Plant Propagation By Tissue Culture, Part 1, 2nd Edition, Exegetic Limited, England.*