

STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DANGKAL BERDASARKAN INTERPRETASI
DATA GEOLISTRIK, Studi Kasus Sesar Palu Koro

*SHALLOW SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURES BASED ON INTERPRETATION OF
RESISTIVITY DATA, Palu-Koro Fault Case study*

Oleh / by :

Marjiyono¹, H. Kusumawardhani². dan A. Soehaimi¹

¹ Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122

² Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl Raya Bandung-Sumedang km 21
Jatinangor 45363

Abstrak

Keberadaan Sesar Palu-Koro sebagai sesar aktif mendatar sudah tidak diragukan lagi, selain dari indikasi kegempaan, observasi geodesi juga sudah membuktikan pergerakan sesar ini. Namun demikian penelitian bawah permukaan di sekitar sesar ini masih belum banyak dilakukan. Pengamatan geolistrik tahanan jenis pada zona Sesar Palu-Koro telah dilakukan pada beberapa lokasi di sekitar lajur sesar ini. Hasil analisis menunjukkan keberadaan struktur sesar teramat dari batuan dasar yang tergeser sebagai sesar turun menangga.

Kata Kunci : geolistrik, tahanan jenis, Sesar Palu-Koro, sesar turun menangga.

Abstract

The existence of the Palu-Koro Fault, as an active lateral fault, has no doubt. Beside seismicity indications, geodetic observations has also proved the movement of this fault. However, subsurface studies in this section is not yet widely performed. Observation of geoelectric resistivity in Palu-Koro Fault zone has been performed at several sites around of this section. Results of analysis shows the presence of fault structures observed from offsetted bedrock as step over fault.

Keywords : geoelectric, resistivity, Palu-Koro Fault, step over fault.

Pendahuluan

Secara regional daerah Sulawesi Tengah memiliki tatanan tektonik yang rumit. Khususnya daerah Palu dan sekitarnya, wilayah ini dilalui struktur sesar aktif Palu Koro. Dalam 100 tahun terakhir setidaknya terjadi 10 kali kejadian gempabumi merusak pada lajur sesar ini (Soehaimi, dr., 2005). Sesar Palu Koro ini memanjang hampir utara – selatan memotong Pulau Sulawesi dari sekitar Donggala hingga teluk Bone. Ditinjau dari bentuk morfologinya, keberadaan sesar ini dapat dikenali dari kelurusan gawir sesar di sebelah barat Kota Palu dan menerus menjadi lembah sempit di bagian selatan. Kondisi di lapangan, indikasi sesar berupa singkapan struktur sesar sulit dijumpai karena kondisi batuan yang lapuk ataupun tertutup oleh endapan kipas alluvial. Sehubungan dengan hal tersebut, pengamatan geologi bawah permukaan perlu dilakukan dengan metode geofisika dalam hal ini telah dilakukan

pengukuran geolistrik tahanan jenis 2D. Hasil pemodelan geologi bawah permukaan dari data tahanan jenis diharapkan, dapat memberikan gambaran kondisi bawah permukaan dangkal di daerah ini.

Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian di sekitar sesar Palu-Koro sebelumnya menunjukkan sesar ini bertipe sesar geser mengiri (Socquet dr., 2006, Leeuwen dan Muhardjo, 2005), namun demikian di bagian utara sesar ini, yakni di sekitar Palu, diperkirakan terdapat komponen turun. Hal ini didasarkan pada kenampakan Lembah Palu yang diduga merupakan daerah ekstensi sehingga membentuk struktur graben. Hal ini diperkuat hasil pengamatan GPS oleh Walsperdorf, dr., (1998) yang menunjukkan bahwa blok sebelah barat sesar Palu-Koro di sekitar Donggala membuka ke arah barat. Hayat (1999) dalam Soehaimi dr., (2005) memodelkan data gaya berat di sekitar Kota Palu.

Naskah diterima : 20 Juli 2012
Revisi terakhir : 21 Februari 2013

Model tersebut menunjukkan bahwa daerah Palu merupakan struktur graben.

Katili (1970) dalam Soehaimi dr., (2005), juga menyatakan sesar Palu-Koro ini sebagai sesar geser mengiri dengan komponen turun. Lebih lanjut dinyatakan bahwa gerak vertikal sesar ini terutama dijumpai di bagian utara, sedangkan di bagian selatan dijumpai gerak mendatar. Sudradjat (1981) dalam Soehaimi dr., (2005) menghitung kecepatan gerak mendatar sesar ini, yang diperkirakan 14-17 mm per tahun.

Hasil pengamatan Tjia (1974), terhadap koral pada teras dekat Tondo di Utara kota Palu memperkirakan kecepatan rata-rata gerak vertikalnya 4,5 mm/tahun. Aktifitas sesar Palu Koro ini cukup intensif yang ditunjukkan oleh seringnya kejadian gempabumi merusak diantaranya : Gempabumi Donggala (1927), Gempabumi Bora (1938), Gempabumi Tambu (1968), Gempabumi Lawe (1985), Gempabumi Palolo (2005). Gempa-gempa tersebut umumnya berpusat pada lajur sesar ini. Gempabumi Lawe memperhatikan gerak sesar mendatar mengiri seperti di jumpai di Desa Kantewu, Lawe serta Gimpu (Soehaimi, 1985) sedangkan gempabumi Palolo 2005 berpusat di Desa Sintuwu Kecamatan Palolo, memperlihatkan gerak sesar mendatar mengiri (Soehaimi, 2005).

Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini pengamatan geolistrik dilakukan di bagian utara dari lajur sesar Palu-Koro, yakni di sebelah barat dataran lembah Palu.

Geologi Daerah Penelitian

Stratigrafi

Secara umum stratigrafi daerah Palu dan sekitarnya dapat dibagi menjadi tiga (3) kelompok, dari tua ke muda yakni batuan Pra-Tersier, batuan Tersier dan Kuarter. Kelompok Batuan Pra-Tersier tersingkap di bagian timur dari daerah penelitian berupa batuan malihan yang terdiri atas sekis mika, sekis amfibolit, dan genes. Singkapan batuan Tersier ditemukan di bagian barat daerah penelitian berupa batuan sedimen. Batuan ini mengandung bahan rombakan dari batuan malihan dan menindih kelompok batuan Pra-Tersier secara tidak selaras. Sukamto dr., (1973) menyatakan rangkaian batuan berumur Tersier merupakan Formasi Tinombo. Rangkaian sedimen ini terutama terdiri dari serpih, batu pasir, sisipan-sisipan tipis batugamping dan batuan gunungapi. Adapun kelompok batuan Kuarter disusun oleh endapan molasa dan aluvium. Kelompok aluvium ini selain sebagai endapan sungai dapat dijumpai berupa endapan kolovium dan diluvium. Disamping itu dijumpai pula batuan terobosan berupa granit dan granodiorit.

Struktur Geologi dan Sejarah Kegempaan

Sesar Palu-Koro merupakan sesar utama di Sulawesi Tengah, dijumpai memanjang dengan arah hampir utara-selatan mulai dari Donggala di ujung Teluk Palu hingga Teluk Bone. Secara keseluruhan sesar ini panjangnya lebih kurang 250 km. Struktur geologi yang dapat diamati di daerah ini terdiri dari kekar, lipatan dan sesar. Kekar yang dapat diamati berupa kekar tarik dan kekar gerus terutama pada batuan Pra-Tersier dan Tersier. Pada batuan Kuarter kekar sulit dijumpai karena belum banyak mengalami deformasi bila dibandingkan pada batuan Pra-Tersier dan Tersier. Struktur-struktur sesar terlihat jelas dari bentuk bentang alam gawir berfaset segitiga dengan kipas aluvium berjajar dengan arah barat-timur. Selain itu dijumpai pula indikasi lain berupa breksi sesar, milonit serta gores garis. Selain sesar berarah hampir utara-selatan dijumpai pula sesar berarah barat-timur dan baratdaya - timur laut dengan gerak geser dan turun (Soehaimi, 1985).

Neotektonik

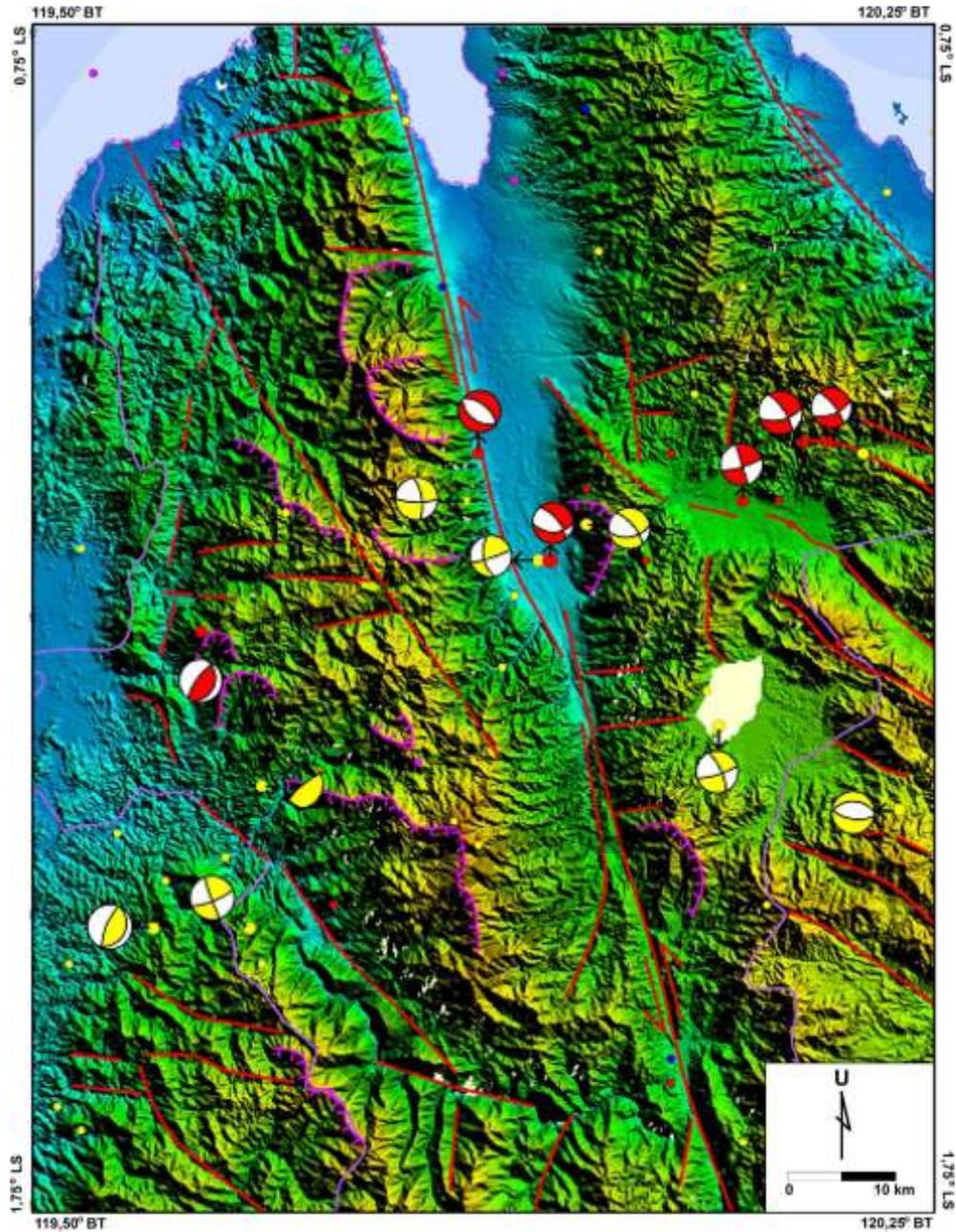
Proses neotektonik sesar aktif di lembah Palu sangat mudah dikenali di lapangan berupa faset segitiga yang ditemukan disekitar lajur sesar dengan ketinggian gawir bervariasi antara 100-250 meter. Faset segitiga lajur sesar Palu-Koro dicirikan oleh kipas aluvium aktif dengan lereng lebih landai dan morfologi relatif datar. Selain terbentuk oleh sesar utara - selatan, faset segitiga ini di kontrol pula oleh sesar-sesar normal berarah barat-timur dan baratdaya-timurlaut (Soehaimi dr., 2005).

Gambaran neotektonik lain yang dapat diamati adalah perpindahan alur sungai yang membentuk teras-teras aluvium pada sub segmen aktif seperti dijumpai di Kotapupu dan Sidondo. Teras-teras ini berketinggian antara 2-15 meter di atas muka air sungai sekarang.

Metodologi

Pengamatan struktur sesar Palu-Koro ini diawali dari analisis citra DEM SRTM untuk menentukan kelurusan-kelurusan sesar secara regional (Gambar 1). Kelurusan-kelurusan tersebut selanjutnya digambar ke dalam peta kerja sebagai dasar penentuan lintasan pengamatan geolistrik.

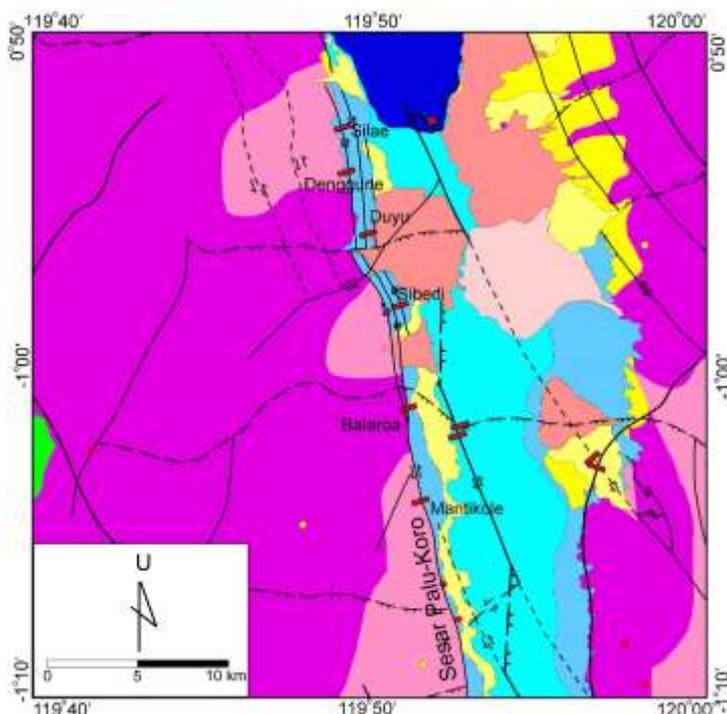
Pengamatan geolistrik tahanan jenis di sekitar Kota Palu ini dilakukan pada enam lokasi. Pengamatan dilakukan dengan resistivitymeter Supersting R8/IP 56 saluran dengan spasi antar elektroda sejauh 6 m. Gambar 2 menunjukkan lokasi pengukuran geolistrik di sekitar sesar Palu-Koro. Secara detail data lokasi lintasan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Kenampaan struktur patahan Palu Koro pada citra DEM berupa kelurusan lembah yang memanjang hampir utara-selatan.

Tabel 1. Lokasi pengamatan geofisika di daerah Kota Palu dan sekitarnya.

No	Koordinat lokasi		Lokasi	Kode lintasan	Arah
1	00°58'11.1"S	119°51'00.2"E	Sibedi , Marawola, Donggala	Sibedi02	N84°E
2	00°56'00.3"S	119°49'59.9"E	Duyu/Taiparango, Palu Barat, Palu	Duyu03	N88°E
3	00°52'51.7"S	119°49'14.5"E	Silae, Palu Barat, Palu	Silae01	N75°E
4	00°54'34.6"S	119°49'18.8"E	Denngune, Palu Barat, Palu	Denggu01	N80°E
5	01°04'28.7"S	119°51'53.6"E	Matikole, Dolo barat, Palu	Manti01	N80°E
6	01°01'19.7"S	119°51'15.1"E	Balaroa, Dolo Barat, Palu	Bala01	N80°E



Gambar 2. Lokasi lintasan pengukuran geolistrik daerah Palu dan sekitarnya.



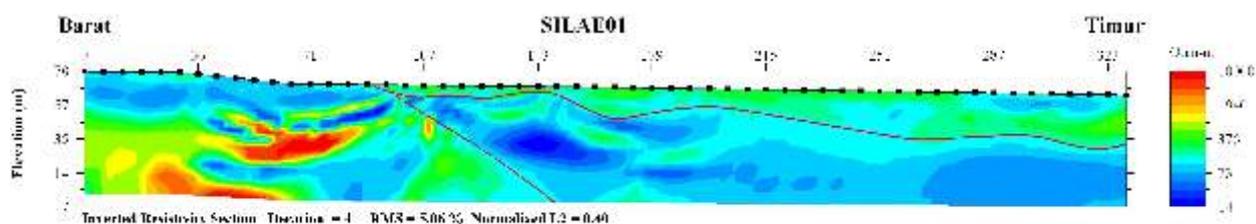
Gambar 3. Endapan kipas yang didominasi oleh material berukuran pasir.

Pembahasan

Keberadaan sesar Palu-Koro dapat diamati dengan jelas dari pola kelurusan pada citra DEM SRTM berupa kelurusan kelurusan berarah hampir utara-selatan. Indikasi dilapangan teramati dari bentuk morfologi gawir sesar berarah utara-selatan di sebelah barat kota Palu. Litologi pada perbukitan sebelah barat Kota Palu berupa batupasir, serpih, dan konglomerat berumur Tersier (Sukanto dr.,1973), sedangkan pada lembah palu ditempati oleh endapan aluvial berumur Kuartar. Pada daerah sekitar gawir sesar umumnya terjadi proses erosi yang menghasilkan endapan kipas aluvial. Lintasan-lintasan pengamatan geolistrik berada di atas endapan kipas aluvial ini dengan harapan dapat melihat pola batuan dasar di bawah endapan kipas ini.

Hasil pengamatan geolistrik di enam lokasi secara umum menunjukkan pola batuan dasar yang mengalami gangguan. Batuan dasar ini bertahanan jenis rendah yang kemungkinan berupa batupasir atau serpih Formasi Tinombo, sedangkan pada bagian atasnya adalah merupakan endapan kipas berupa bahan rombakan dari batuan dasar. Litologi endapan kipas ini didominasi oleh material berukuran pasir dengan fragmen-fragmen baruan beku, fillit, batu sabak berukuran krikil hingga bongkah (Gambar 3). Batuan ini bersifat sarang sehingga nilai tahanan jenisnya bisa bervariasi, pada kondisi basah batuan ini bertahanan jenis rendah, sedangkan pada kondisi kering akan bertahanan jenis tinggi.

Berikut uraian pembahasan dari masing-masing penampang. Lintasan pengukuran paling utara dari penelitian geolistrik sesar Palu-Koro ini adalah Desa Silae, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu. Gambar 4 menunjukkan hasil interpretasi data tahanan jenis di lintasan ini. Bagian barat dari lintasan ini litologinya berupa batuan granit (Gambar 5). Hasil pemodelan penampang tahanan jenis pada lintasan ini kurang dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi struktur geologinya.



Gambar 4. Hasil penafsiran geolistrik di lokasi Silae 01 Desa Silae, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu.

Bagian barat dari penampang geolistrik pada lintasan ini menunjukkan nilai tahanan jenis yang tinggi.

Hal ini kemungkinan berasosiasi dengan batuan granit di daerah ini, sedangkan pada bagian timur menunjukkan nilai tahanan jenis yang rendah yang diduga merupakan batuan dasar di wilayah ini yang kemungkinan berupa batu pasir atau serpih. Pada bagian permukaan, bagian barat dari lintasan ini berupa batuan granit, sedangkan bagian timurnya merupakan endapan kipas aluvial. Endapan kipas aluvial ini kemungkinan hanya merupakan lapisan tipis (warna hijau) yang menutupi batuan dasar pada lintasan ini. Struktur sesar diinterpretasikan pada batas batuan granit (garis putus-putus).

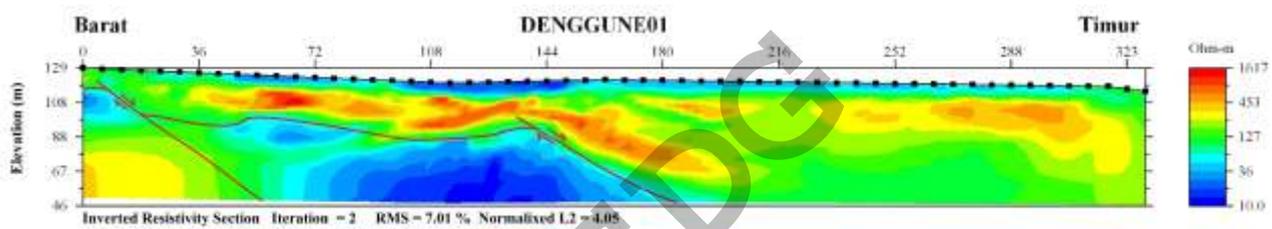
Lintasan berikutnya adalah lintasan yang terletak di Desa Deggune, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu. Gambar 6 menunjukkan penampang tahanan jenis di lintasan ini. Secara keseluruhan lintasan ini berada pada endapan kipas aluvial yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis yang relatif tinggi (dominan warna kuning). Batuan dasar muncul di bagian barat dari lintasan ini. Batuan ini diduga telah mengalami gangguan oleh struktur sesar. Struktur

Gambar 7 memperlihatkan hasil interpretasi penampang tahanan jenis lintasan pengukuran di Desa Duyu.

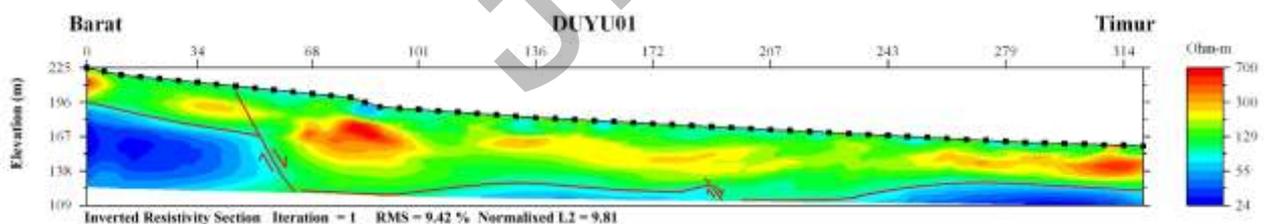
Lokasi pengukuran geolistrik di daerah Desa Sibedi merupakan perbukitan yang diduga merupakan zona sesar Palu-Koro. Salah satu indikasi keberadaan sesar tersebut adalah kelurusan gawir kecil pada perbukitan ini (Gambar 8).



Gambar 5. Singkapan batuan granit di Desa Silae.



Gambar 6. Hasil penafsiran geolistrik di lokasi Deggune 01 Desa Deggune, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu.



Gambar 7. Hasil penafsiran geolistrik di lokasi Duyu 01, Desa Duyu, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu.

yang ada kemungkinan berupa struktur sesar turun menangga (*step over fault*).

Lintasan pengukuran di Desa Duyu, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu memotong perbukitan bergelombang. Indikasi struktur dapat diamati dari bentuk morfologi pada perbukitan ini. Pada bagian permukaan lintasan litologi berupa endapan kipas aluvial yang ditunjukkan oleh lapisan bertahanan jenis relatif tinggi. Batuan dasar yang bertahanan jenis rendah muncul di sepanjang lintasan pengukuran. Pada bagian barat batuan ini muncul pada kedalaman yang dangkal. Seperti halnya di lintasan pengukuran di sebelah utaranya, pada lintasan ini batuan dasar juga mengalami gangguan oleh struktur sesar yang berupa sesar tutun menangga (*step over fault*).



Gambar 8. Indikasi sesar dari bentuk morfologi.



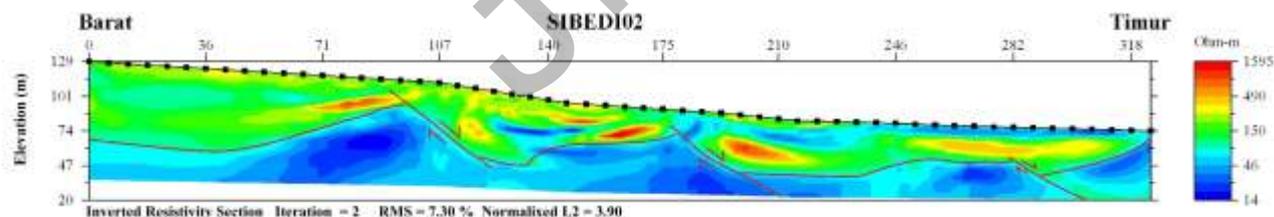
Gambar 9. Singkapan endapan kipas aluvial di daerah Desa Sibedi.

Lintasan pengukuran geolistrik memotong secara tegak lurus dari kelurusan gawir tersebut. Bagian atas dari penampang geolistrik menunjukkan nilai tahanan jenis yang relatif tinggi yang berasosiasi dengan endapan kipas aluvial berupa pasir dengan fragmen-fragmen batuan beku, filit, dan sekis berukuran kerikil hingga bongkah. Singkapan endapan kipas aluvial ini dapat dilihat pada Gambar 9. Bagian bawah dari penampang tersebut bertahanan jenis rendah yang kemungkinan berupa batu pasir dan serpih (Formasi Tinombo) yang merupakan batuan dasar di daerah ini. Pola batuan dasar pada

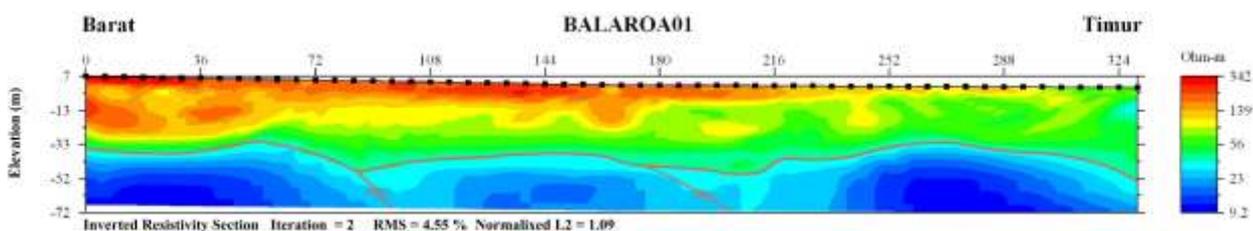
lintasan ini menunjukkan adanya pola sesar turun menangga (*step over fault*). Gambar 10 menunjukkan hasil penafsiran penampang geolistrik pada lintasan ini.

Lintasan pengukuran di Desa Balaroa mengikuti lintasan jalan desa berarah barat-timur. Lapisan permukaan pada lintasan ini umumnya adalah gravel yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis yang relatif tinggi. Ke arah timur endapan kipas aluvial menunjukkan perubahan nilai tahanan jenis secara gradual menurun. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan ukuran butiran yang mengecil ke arah timur. Pada bagian bawah batuan dasar terdeteksi berupa lapisan bertahanan jenis rendah. Lapisan batuan dasar ini kemungkinan juga mengalami gangguan oleh struktur sesar yang menerus hingga pada lapisan endapan kipas aluvial. Hal ini mengindikasikan bahawa sesar tersebut aktif pada masa sesudah endapan kipas aluvial terbentuk. Hasil penafsiran geolistrik pada lokasi ini ditunjukkan pada Gambar 11.

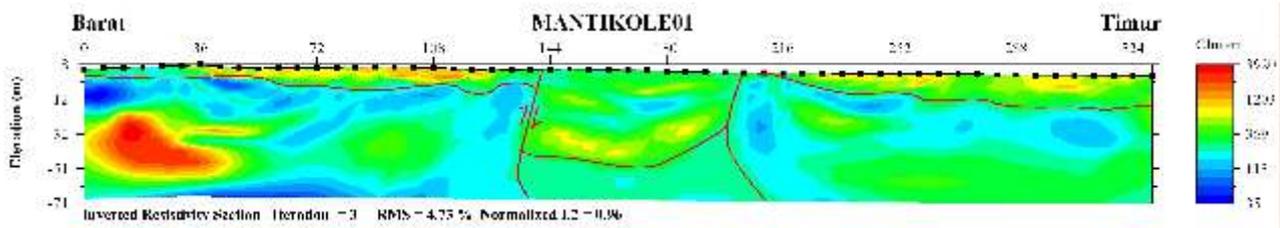
Lintasan pengukuran geolistrik di daerah Desa Mantikole merupakan lintasan paling selatan dari penelitian ini. Bagian barat dari lintasan ini berupa bongkah-bongkah granit hasil rombakan dari perbukitan di sebelah baratnya. Hasil pengukuran geolistrik di daerah ini kurang dapat memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan sebaran bongkah-bongkah rombakan batuan granit yang bercampur dengan material yang didominasi pasir. Gambar 12 menggambarkan penafsiran kondisi bawah permukaan pada lintasan ini.



Gambar 10. Hasil penafsiran geolistrik di lokasi Sibedi 02, Desa Sibedi, Kecamatan Marawola, Kabupaten Donggala.



Gambar 11. Hasil penafsiran geolistrik di lokasi Balaroa 01, Desa Balaroa, Kecamatan Dolo Barat, Kota Palu.



Gambar 12. Hasil penafsiran geolistrik di lokasi Mantikole01, Desa Mantikole, Kecamatan Dolo Barat, Kota Palu.

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan :

- Sebagai sesar geser mengiri Sesar Palu-Koro sudah banyak dibuktikan beberapa peneliti. Dalam penelitian ini, teramati adanya pergeseran turun pada batuan yang mengalasi endapan kipas aluvial, sehingga kinematika gerak Sesar Palu-Koro di segmen ini adalah geser mengiri turun.
- Batuan dasar di daerah pengamatan geolistrik diperkirakan merupakan batuan dari formasi Tinombo berupa batupasir atau serpih yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis rendah.

- Lapisan permukaan berupa lapisan endapan kipas aluvial yang didominasi oleh material pasir dengan fragmen-fragmen batuan beku, filit, sekis yang berukuran kerikil hingga bongkah. Nilai tahanan jenis lapisan endapan kipas aluvial ini bervariasi yang diperkirakan berkaitan dengan ukuran fragmen-fragmennya serta faktor air.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih penulis kami sampaikan kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas kesempatan yang diberikan kepada tim untuk melakukan penelitian di daerah Palu dan sekitarnya. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu kegiatan pengumpulan data lapangan.

Acuan

- Leeuwen, T.M. & Muhandjo, 2005. Stratigraphy and tectonic setting of the retaceous and Paleogene volcanic-sedimentary successions in northwest Sulawesi, Indonesia: implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi, *Journal of Asian Earth Sciences* 25 (2005)
- Socquet, A., Simons, W., Vigny, C., McCaffrey, R., Subarya, S. & Sarsito, D., 2006. Microblock rotations and fault coupling in SE Asia triple junction (Sulawesi, Indonesia) from GPS and earthquake slip vector data, *Journal of Geophysical Research*, Vol 111, 2006.
- Soehaimi, A. I., Effendi, Setiawan, J.H. dan Supartoyo, 2005. Laporan Pemeriksaan Gempabumi Palolo, 24 Januari 2005 Sulawesi Tengah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, internal report, tidak terbit.
- Soehaimi, A., 1985. Laporan Pemeriksaan Gempabumi Lawe, 5 Maret 1985 Sulawesi Tengah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, internal report, tidak terbit.
- Sukanto, R., Sumadirdja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S. dan Sudana, D., 1994. *Peta Geologi Lembar Palu, Sulawesi, skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tjia, H.D., T. Zakaria, 1974. Palu-Koro Strike Slip Fault Zone Central Sulawesi, Indonesia, *Sains Malaysiana*.
- Walpersdorf, A., Rangin, R. & Vigny, C., 1998. GPS compared to long-term geologic motion of the north arm of Sulawesi, *Earth and Planetary Science Letters* 159 (1998).