

KONDISI GEOLOGI DAERAH RUTENG DITAFSIR PADA DATA GAYA BERAT

T. Padmawidjaja

Pusat Survei Geologi,
Jl. Diponegoro No.57 Bandung 40122

Sari

Nilai anomali gaya berat daerah penelitian berkisar antara 60 sampai 160 mgal, membentuk tinggian anomali antara 100 sampai 160 mgal dan cekungan anomali antara 60 sampai 100 mgal. Anomali tinggi berhubungan dengan munculnya batuan alas atau pendangkalan batuan alas, yaitu Formasi Kiro. Cekungan Wuas diduga merupakan cekungan antar gunung, sedangkan rendahan (cekungan) di Ruteng ke arah selatan diduga disebabkan oleh sesar, dan adanya tinggian anomali diduga akibat adanya batuan granodiorit (Tmg). Batuan sedimen pengisi cekungan terdiri atas Formasi Nangapanda dan Formasi Bari. Berdasarkan kelurusannya terdapat beberapa sesar, yaitu Sesar Ruteng, Sesar Ulumbu, Sesar Pocodede, dan Sesar Bajawa. Model geologi penampang anomali gaya berat AB menunjukkan ada dua lapisan sesuai nilai rapat massanya, lapisan di bawah diduga sebagai batuan alas dengan rapat massa 2.71 gr/cm^3 , dan lapisan di atasnya adalah batuan sedimen dengan rapat massa 2.6 gr/cm^3 . Sesar Ruteng, Sesar Ulumbu, dan Sesar Pocodedeng mengontrol pendangkalan magma yang dapat berfungsi sebagai sumber sistem panas bumi di daerah penelitian.

Kata Kunci : anomali gaya berat, batuan, sesar, panas bumi, daerah Ruteng

Abstract

Ruteng Area was occupied by the gravity anomaly values between 60 to 160 mgal, showing high anomaly between 100 to 160 mgal and basin anomaly indicated by gravity values between 60 to 100 mgal. The high anomalies are associated with a shallow or exposed basement consisting of Kiro Formation. Wuas Basin is interpreted as intermountain basin, meanwhile basins from Ruteng to the southern part are controlled by faults, and the high anomalies at the southern part is presumed to be granodiorite (Tmg). The sedimentary rocks filling the basins are Nangapanda and Bari Formations. Based on the lineament, there are some faults involving Ruteng, Ulumbu, Pocodedeng and Bajawa Faults. AB geological model of the gravity anomaly cross section shows two layer, consisting of lower layer (basement) with density of 2.71 gr/cm^3 , the second layer is sedimentary rocks with density of 2.6 gr/cm^3 . Ruteng, Ulumbu, and Pocodedeng faults controlled the swallowing magma of which can function as a heat source of the geothermal system at the studied area.

Keywords : gravity anomaly, lithology, faults, geothermal, Ruteng area.

Pendahuluan

Pulau Flores terletak dalam busur gunung api atau lebih dikenal sebagai Busur Banda (Katili dan Sudrajat, 1989). Busur ini melampar melalui Pulau Bali, Pulau Lombok, Pulau Sumbawa, dan pulau-pulau kecil di bagian timur Flores sampai Ambon. Secara tektonik, busur vulkanik tersebut merupakan hasil panunjaman Lempeng Benua Australia ke arah utara terhadap Lempeng Benua Eurasia, dan penunjaman antara Lempeng Samudra Hindia terhadap Lempeng Benua Eurasia. Penunjaman tersebut membentuk busur gunung api, busur luar punggung non gunung api, dan cekungan busur luar (Gambar 1). Aktivitas magmatisme ini menghasilkan gunung api dan batuan terobosan yang berumur Tersier sampai Kuartar.

Di daerah Flores Tengah terdapat manifestasi panas bumi yang terdiri atas fumarola, sumber mata air panas, geyser, serta erupsi freatik dan batuan alterasi (Bakrun drr., 2003) yang terdapat di Ulumbu, Wai Pesi, dan Wai Sano. Dalam sistem panas bumi, uap panas terkumpul dalam batuan reservoir, dan ditutupi oleh lapisan penutup yang kedap air. Munculnya manifestasi panas bumi di permukaan dikontrol oleh suatu rekahan atau sesar. Tulisan ini bertujuan untuk melakukan kajian struktur geologi bawah permukaan berdasarkan data gaya berat yang mungkin mengontrol sistem panas bumi di daerah Flores Tengah.

Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelaahan laporan, jurnal, peta geologi, dan peta gaya berat Lembar Ruteng.

Data anomali gaya berat dipisah menjadi anomali gaya berat residual dan anomali gaya berat regional, diolah menjadi *trend* anomali gaya berat, kemudian dibuat pemodelan geologi bawah permukaan. Adanya perubahan atau *offset* kontur anomali gaya berat secara horizontal ditafsirkan sebagai sesar. Adanya pendangkalan batuan alas didasarkan atas data geologi permukaan dan hasil pemodelan struktur geologi bawah permukaan. Manifestasi panas bumi atau geokimia diplot pada penampang anomali gaya berat.

Berdasarkan data anomali Bouguer, residual, dan *trend* anomali gaya berat diperoleh informasi struktur geologi secara lengkap, dan kemudian dihubungkan dengan panas bumi daerah Flores Tengah.

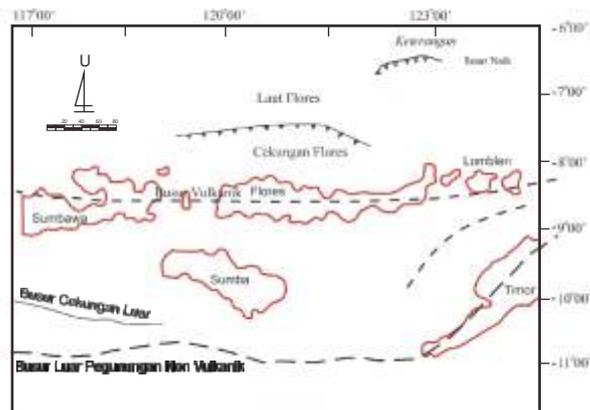
Lokasi daerah penelitian

Secara administratif lokasi daerah penelitian termasuk kedalam dua kabupaten, yaitu Kabupaten Manggarai Barat dan Kabupaten Manggarai. Secara geografis terletak pada koordinat antara 120°00' - 121°00' BT dan 08°00' - 09°00' LS (Gambar 2).

Geologi Regional

Daerah penelitian secara umum terletak di daerah perbukitan bergelombang, pegunungan dan dataran. Daerah perbukitan bergelombang menempati bagian tengah Flores atau sekitar Way Pesi dengan elevasi berkisar antara 200 sampai 900 m, dan daerah pegunungan terletak di bagian selatan Flores atau sekitar Ulumbu dengan elevasi antara 900 sampai dengan 1250 m, sedangkan dataran dengan elevasi antara 0 sampai dengan 200 m menempati bagian barat atau sekitar Way Sano atau sekitar Reo dan bagian barat Flores.

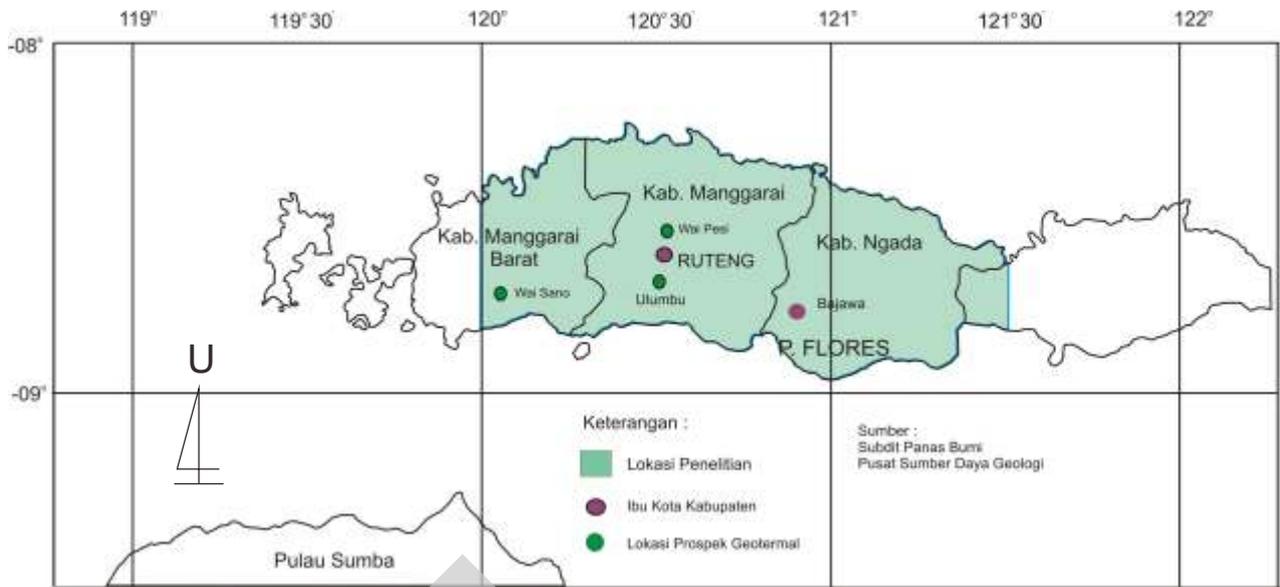
Dalam peta geologi sistematis skala 1:250.000, daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Ruteng, Nusa Tenggara yang dibuat oleh Koesoemadinata dr. (1994). Pada peta geologi tersebut (Gambar 3) singkapan batuan yang berada di lembar tersebut berumur Miosen sampai Kuartar. Satuan tertua adalah Formasi Kiro (Tmk) yang tersusun oleh breksi, lava dan tuf, dengan sisipan batupasir, tufan, breksi dengan komponen andesit dan basal. Formasi ini berumur Miosen Awal - Miosen Tengah yang menindih secara selaras formasi ini adalah Formasi Nangapanda (Tmn), Formasi Bari (Tmb) dan Formasi Tanatahu (Tmt). Ketiga formasi ini saling berhubungan menjari.



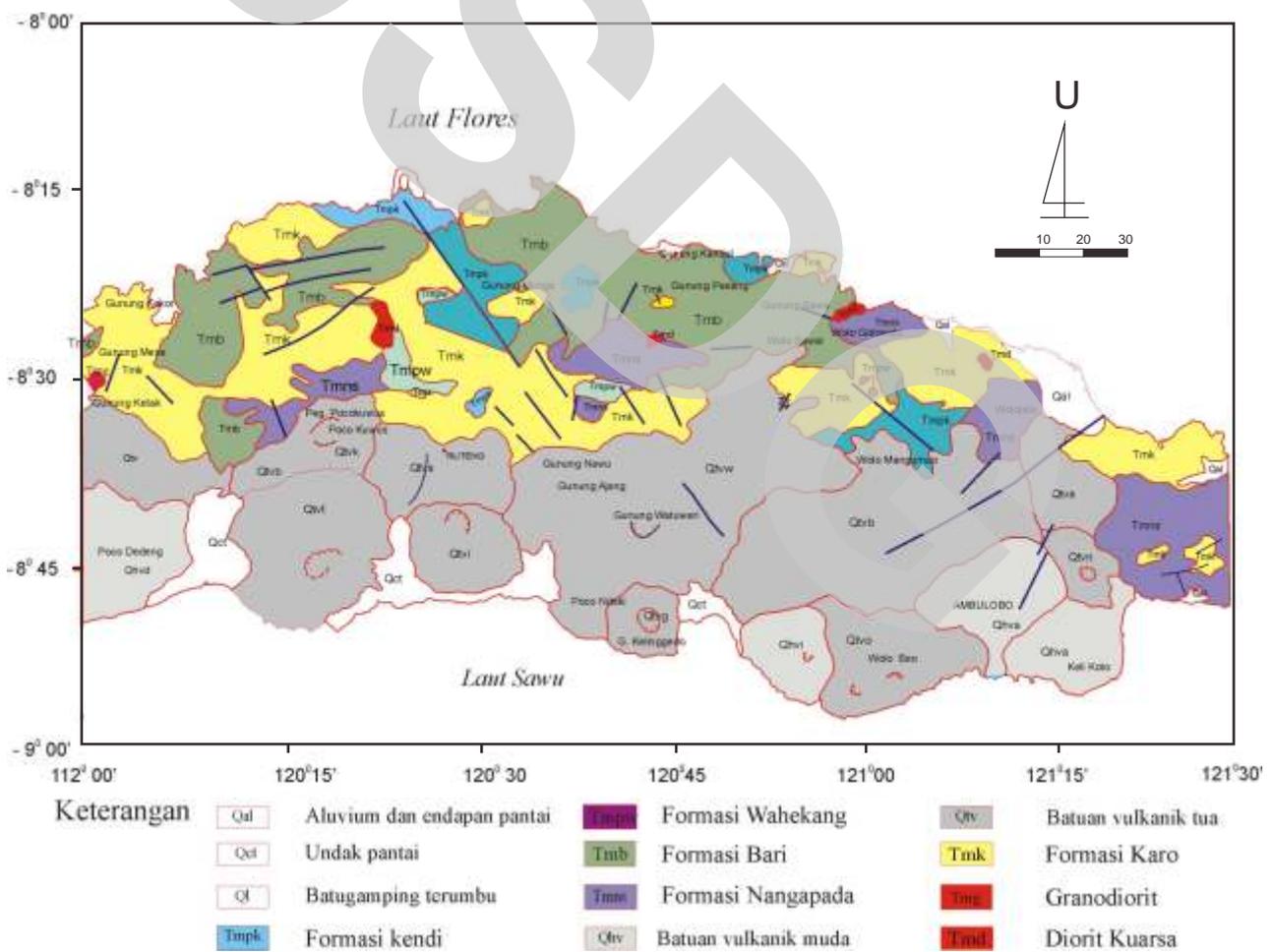
Gambar 1. Struktur geologi regional Pulau Flores dan sekitarnya (Nasution, dr., 2002).

Formasi Nangapanda terdiri atas batupasir dan batugamping setempat lensa dan sisipan napal; dan di beberapa tempat terdapat sisipan breksi. Berdasarkan fosil yang dijumpai, formasi ini berumur Miosen Tengah dengan lingkungan pengendapan neritik. Formasi Bari tersusun oleh batugamping berselingan dengan batugamping pasir, setempat sisipan batupasir gampingan. Berdasarkan kandungan fosil foraminifera, formasi ini berumur Miosen Tengah, dan diendapkan dalam lingkungan litoral. Formasi Tanatahu tersusun oleh lava, breksi dan tuf. Formasi-formasi tersebut di atas diterobos oleh granodiorit (Tmgd) dan diorit kuarsa (Tmd). Formasi Wahekan (Tmpw) dan Formasi Laka (Tmpl) yang berhubungan saling menjemari, secara tidak selaras menindih batuan yang sudah ada. Formasi Waihekan tersusun oleh batugamping klastika berlapis, dan terdapat rijang merah jingga. Berdasarkan fosil foraminifera yang dijumpai, formasi ini berumur Miosen Akhir-Pliosen, dan diendapkan dalam lingkungan laut dalam; sedangkan Formasi Laka terdiri atas tuf setempat yang berselingan dengan batupasir gampingan berumur Miosen Akhir-Pliosen. Kedua formasi ditindih secara tidak selaras oleh batuan gunung api tua (QTV), dan kemudian ditindih oleh batuan gunung api Kuartar (QhV), dan endapan undak aluvium (Qat), batugamping koral (QI), dan endapan aluvium (Qa).

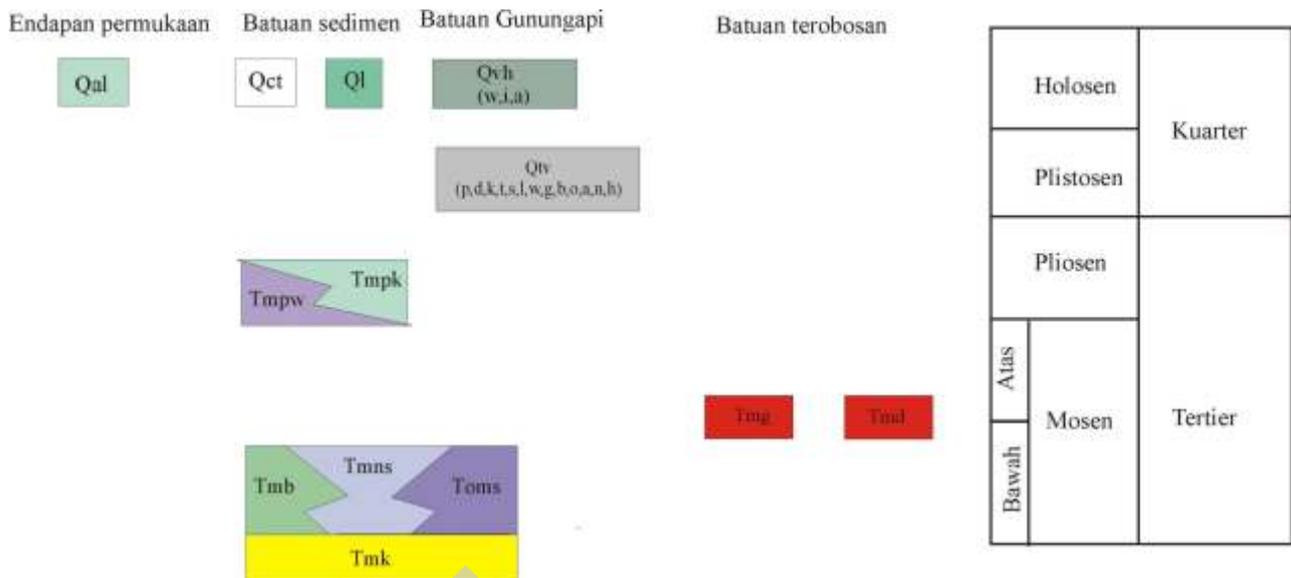
Sesar daerah penelitian secara umum berarah barat daya - timur laut di bagian timur, sedangkan di bagian barat dan tengah menunjukkan arah barat laut - tenggara (Gambar 3). Struktur lipatan pada umumnya menempati batuan sedimen Tersier yang terletak di bagian utara Flores, yang berupa lipatan, yaitu antiklin dan sinklin.



Gambar 2. Lokasi daerah penelitian gaya berat dan lokasi prospek geotermal.



Gambar 3. Peta Geologi Lembar Ruteng (Koesoemadinata, dr., 1994).



Gambar 4. Korelasi stratigrafi Lembar Ruteng (Koesoemadinata, dr., 1994).

Data dan interpretasi

Anomali Bouguer

Anomali gaya berat daerah penelitian berkisar antara 60 sampai 160 mgal. Nilai anomali ini dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu kelompok anomali tinggi (lebih besar dari 100 mgal) dan kelompok anomali rendah (lebih kecil dari 100 mgal). Kelompok anomali tinggi mendominasi daerah penelitian, dengan puncak anomali terletak di sekitar Gunung Petunjuk dan Kedindi yang mencapai 160 mgal dan membentuk punggung anomali. Anomali rendah menempati lokasi sekitar Gunung Wuas, Bajawa, dan daerah Ruteng ke arah barat daya yang membentuk cekungan anomali.

Di sekitar Gunung Petunjuk, anomali gaya berat mencapai 160 mgal (Gambar 5). Penampakan ini diduga menggambarkan pendangkalan batuan alas yang tersusun oleh lava andesit dan basal (Formasi Kiro), sedangkan anomali tinggi di sekitar Gunung Sawe, Gunung Golowatu yang menerus ke arah Gunung Watuweri diduga merupakan gambaran batuan terobosan yang terdiri atas diorit kuarsa dan granodiorit (Gambar 5). Anomali gaya berat rendah menempati sekitar Gunung Wuas yang menerus ke arah Way Pesi, dan di daerah Ruteng membelok ke arah barat laut. Di daerah Way Sano berarah utara - barat laut, dan di daerah Bajawa berarah timur laut - barat daya. Anomali gaya berat rendah di sekitar Gunung Wuas, daerah Ruteng, Pegunungan Tolo,

dan Gunung Pasang membentuk cekungan anomali gaya berat yang diduga merupakan refleksi cekungan sedimen Tersier. Cekungan terdalam adalah Cekungan Wuas yang berbentuk membulat dan diduga sebagai cekungan antargunung. Oleh karena itu, hubungan antara Formasi Kiro dengan dua formasi batuan sedimen (Formasi Formasi Nangapanda dan Formasi Bari) ditafsirkan sebagai hubungan tidak selaras. Anomali rendah di Wai Sano yang berarah utara barat laut - selatan tenggara, dan di daerah Bajawa yang berarah timur laut - barat daya diduga merupakan sesar. Perbedaan anomali gaya berat yang paling besar di daerah sekitar Gunung Petunjuk dengan anomali terendah sekitar Gunung Wuas, dan perbedaannya mencapai 120 mgal (Gambar 5). Nilai anomali tinggi di sekitar Gunung Kokor, Gunung Mese dan Gunung Petunjuk dipisahkan oleh anomali rendah Gunung Wuas.

Anomali gaya berat sisa

Anomali gaya berat sisa menggambarkan penampakan geologi dekat permukaan. Peta Anomali sisa (Gambar 7) mempunyai nilai yang berkisar antara -40 sampai 35 mgal. Anomali tertinggi yang dijumpai di sekitar Gunung Petunjuk dan mencapai 35 mgal menunjukkan tersingkapnya batuan alas (Formasi Kiro) yang tersusun oleh lava, breksi, dan tuf, sedangkan adanya singkapan batuan sedimen Tersier di daerah ini diduga sangat tipis. Anomali gaya berat sisa tinggi yang menempati Gunung Kokor ke arah Gunung Mese sampai Tiwuante diduga

diakibatkan oleh tersingkapnya Formasi Kiro yang menyebar ke arah selatan, sedangkan di bagian utara disebabkan oleh tersingkapnya batugamping Formasi Bari. Anomali gaya berat sisa tinggi di Gunung Watuweri, Wolo Mangumuo sampai Wolo Golowatu menunjukkan Formasi Kiro relatif dangkal, dan sebagian tersingkap. Di Ponco Ndeki terdapat anomali tinggi yang diduga diakibatkan oleh lava basal atau andesit dari produk gunung api Kuarter Ndeki, sedangkan di Wolo Golowatu - Mangumuo dicirikan oleh tersingkapnya Formasi Kiro. Anomali tinggi di Kelli Kotto dan sekitarnya diduga merupakan gambaran Formasi Kiro relatif dangkal, dan lava dari gunung api Kuarter, sedangkan ke arah timur laut di Ambulobo disebabkan oleh tersingkapnya Formasi Kiro.

Di sekitar Gunung Wuas terdapat anomali gaya berat sisa terendah yang mencapai -40 mgal yang diduga menunjukkan adanya batuan sedimen Tersier cukup tebal (Gambar 7).

Anomali gaya berat residual rendah menempati sekitar Pegunungan Ruteng, Poco, Kuwus sampai Pegunungan Tolo, dan di Gunung Kandul diduga dipengaruhi oleh batuan sedimen. Anomali sisa rendah Ngalu Lamba sampai Bajawa diduga sebagai sesar, sebab pada peta geologi terdiri atas batuan gunung api Kuarter yang tersusun oleh lava dan breksi yang seharusnya mempunyai densitas relatif tinggi. Juga anomali gaya berat sisa rendah di daerah Wai Sano yang dipermukaan tersusun oleh batuan gunung api Kuarter diperkirakan sebagai sesar.

Landaian Anomali Gaya berat

Gradient atau landaian anomali gaya berat dapat dikorelasikan dengan arah kemiringan bidang sesar bawah permukaan, sehingga dapat digunakan untuk membuat model geologi, yaitu sebagai kontrol pola kelurusan di permukaan. Landaian anomali gaya berat antara Gunung Petunjuk dan Gunung Wuas mencapai 7,5 mgal/km yang artinya lereng morfologi cekungan sangat curam.

Landaian anomali gaya berat di bagian sekitar Bajawa mencapai 4 mgal/km yang diduga merupakan sesar yang mempunyai kemiringan tegak dan diduga sebagai sesar mendatar. Sesar ini mengontrol terbentuknya rangkaian gunung api Kuarter di daerah ini dan cekungan Kuarter di bagian timur laut.

Analisis

Sesar

Berdasarkan kelurusan dan *offset* kontur anomali gaya berat, di daerah penelitian terdapat beberapa sesar, yaitu Sesar Ruteng, Sesar Pocodedeng, Sesar Ulumbu, dan Sesar Bajawa (Gambar 9).

Sesar Ruteng

Sesar ini berarah barat laut - tenggara, dan dicirikan oleh adanya kelurusan belokan kontur, kelurusan pantai, adanya *offset* kontur. Berdasarkan *offset* ini, sesar ini diduga merupakan sesar mendatar manganan, dan berdasarkan gradien anomali, sesar ini kemiringannya ke arah barat daya.

Sesar Pocodedeng

Sesar ini berarah utara barat laut - selatan tenggara, yang dicirikan oleh anomali gaya berat rendah dan anomali sisa rendah. Sesar ini mempunyai kemiringan tegak, sehingga diduga sebagai sesar mendatar.

Sesar Ulumbu

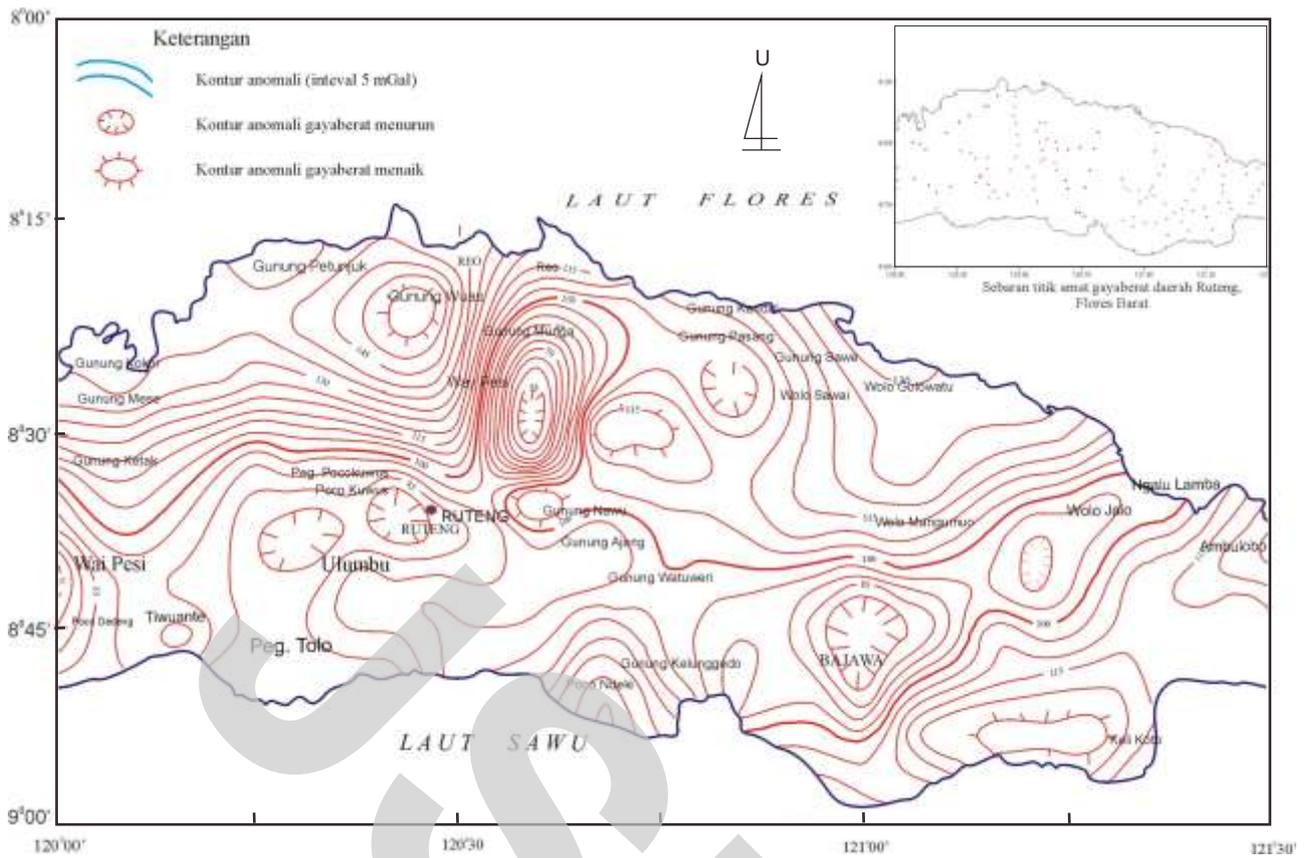
Sesar ini dicirikan adanya kelurusan kelokan, *offset*, dan nilai rendah anomali gaya berat. Sesar berarah barat laut - tenggara ini diduga merupakan sesar mendatar manganan dengan kemiringan ke arah barat laut.

Sesar Bajawa

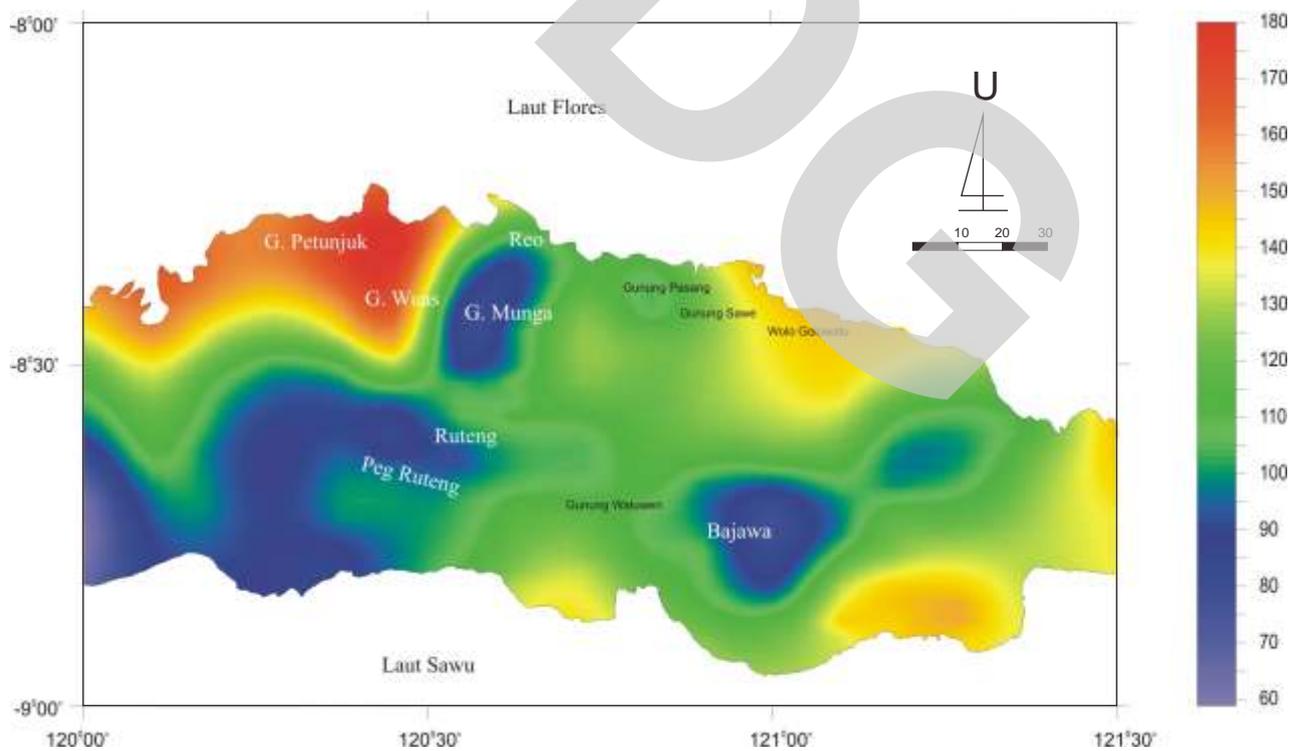
Sesar ini berarah timur laut - barat daya, yang dicirikan oleh anomali gaya berat rendah dan anomali sisa rendah. Sesar ini mempunyai kemiringan tegak, sehingga diduga sebagai sesar mendatar.

Pemodelan geologi bawah permukaan

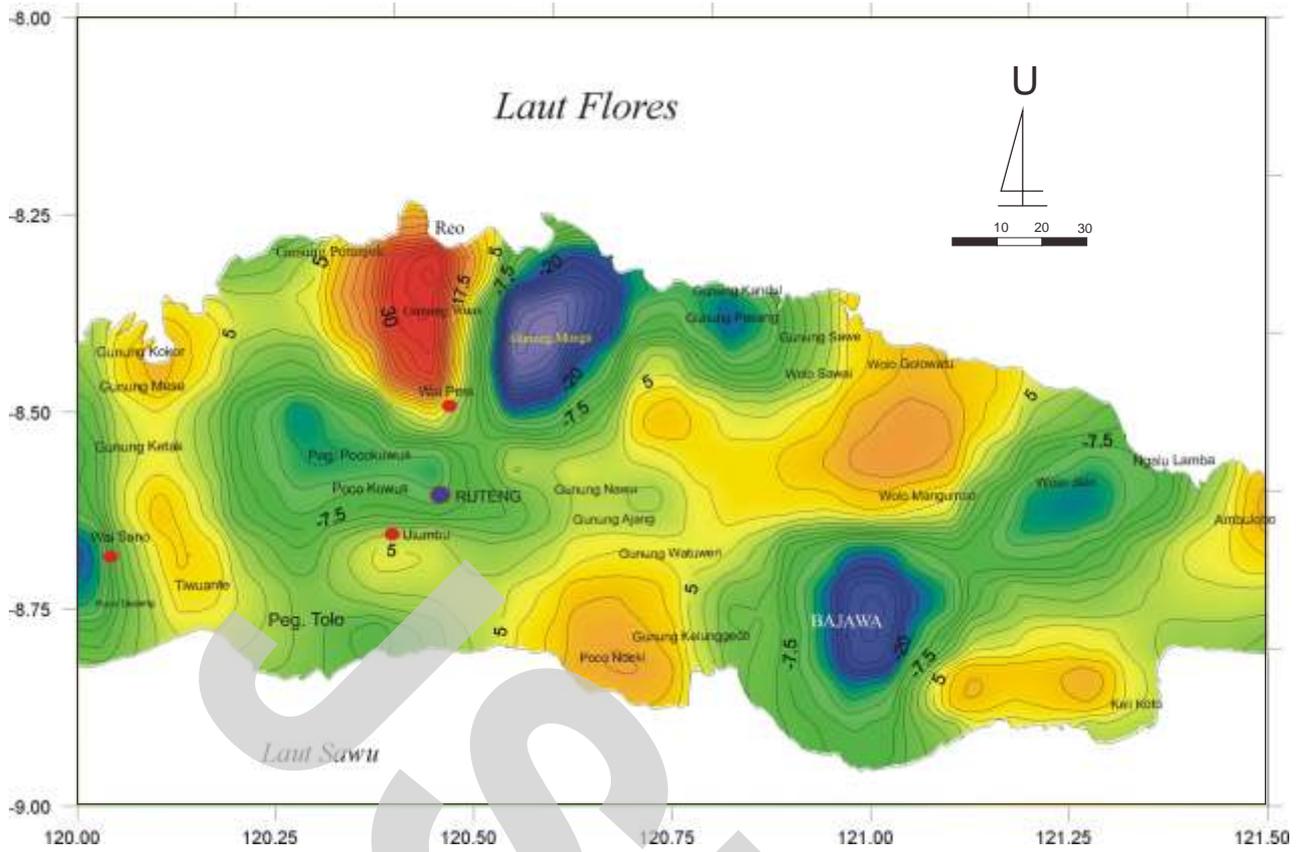
Pemodelan geologi dari penampang anomali gaya berat berarah utara timur laut – selatan barat daya dilakukan sepanjang lintasan A-B. Nilai anomali pada lintasan tersebut bervariasi antara 75 sampai 120 mgal, yang membentuk punggungan dan cekungan anomali. Lintasan anomali gaya berat tersebut ditempati oleh anomali relatif tinggi di bagian selatan, dari Gunung Wuas sampai batas Reo ditempati oleh anomali gaya berat rendah yang membentuk cekungan anomali, dan di ujung utara ditempati oleh anomali tinggi.



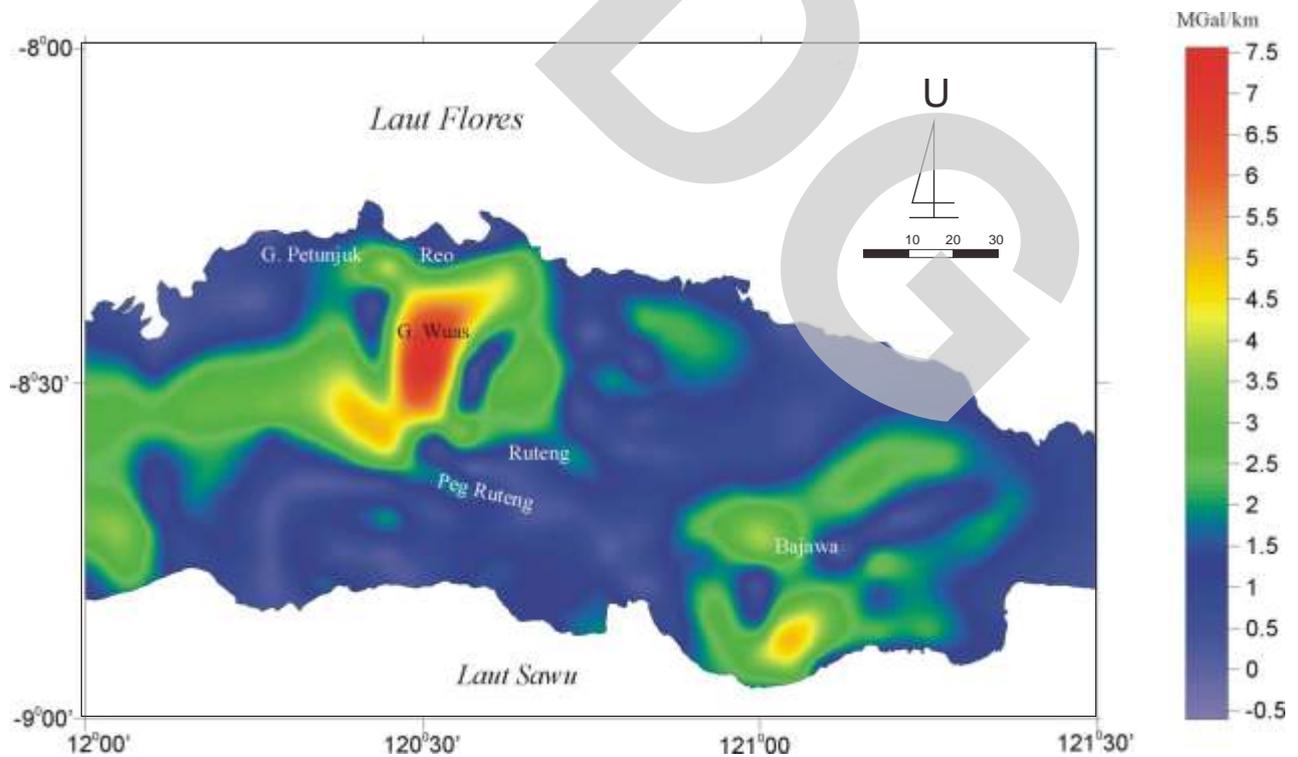
Gambar 5. Kontur anomali gaya berat daerah Flores Barat (Padmawidjaja dan Simamora, 1993).



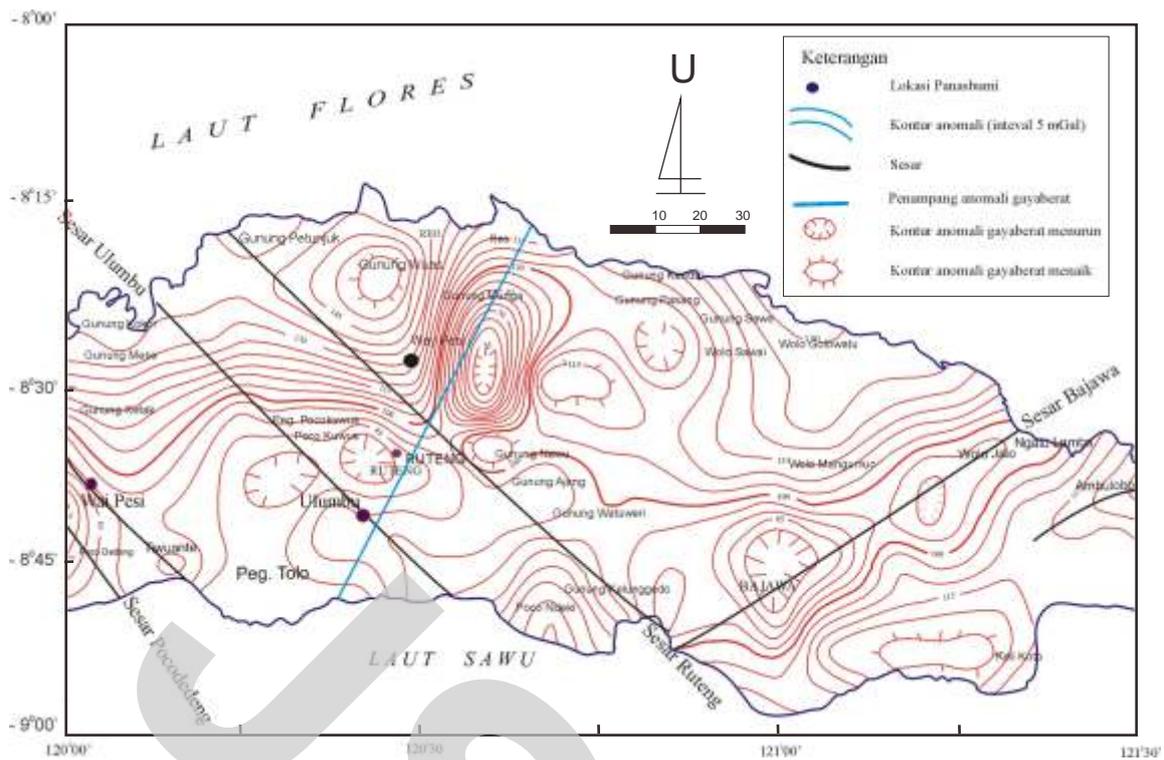
Gambar 6. Peta citra anomali gaya berat Lembar Ruteng, Flores Barat.



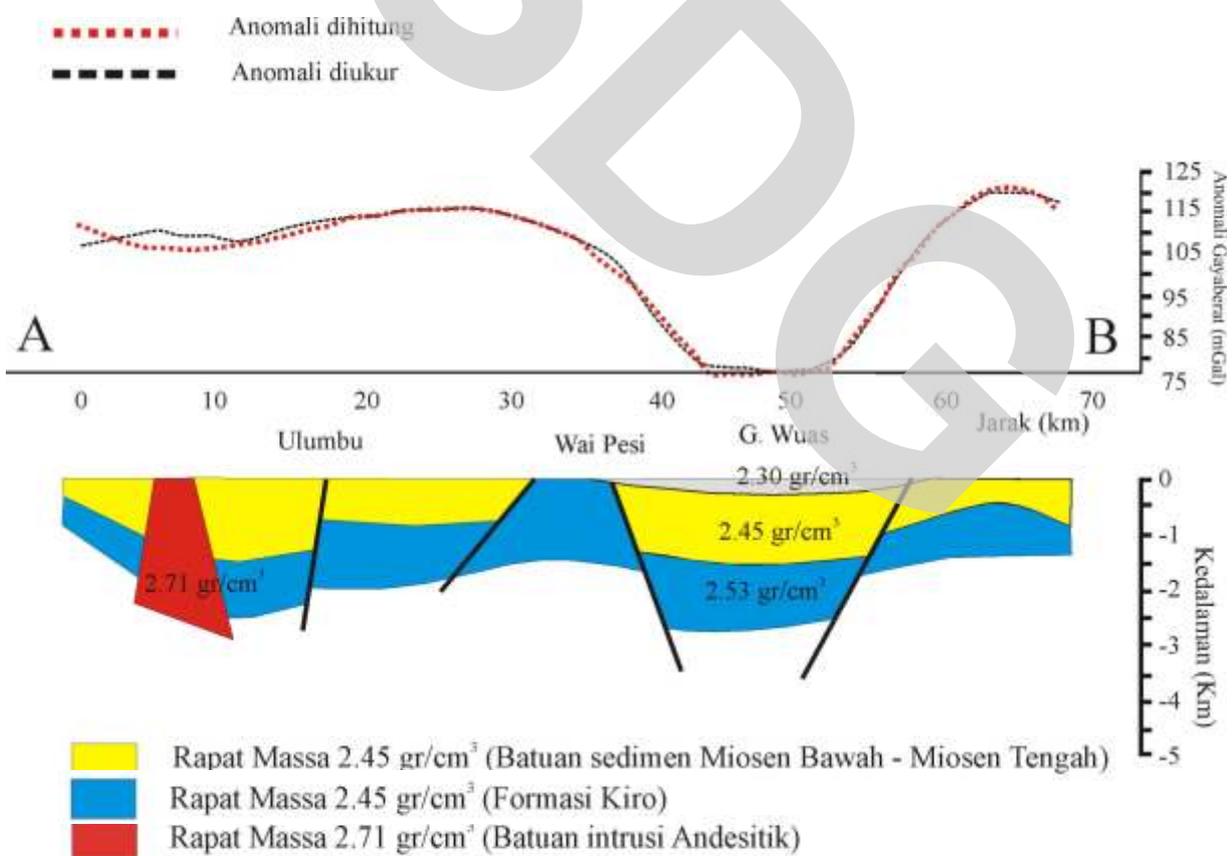
Gambar 7. Kontur anomali gaya berat sisa Lembar Ruteng, Flores Barat.



Gambar 8. Citra gradien anomali gaya berat Lembar Ruteng, Flores Tengah.



Gambar 9. Pola struktur geologi berdasarkan analisis data anomali gaya berat.



Gambar 10. Model Geologi bawah permukaan sepanjang lintasan A –B.

Model geologi penampang anomali gaya berat lintasan A-B ditafsirkan terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan batuan dengan rapat massa $2,53 \text{ gr/cm}^3$ yang diduga sebagai Formasi Kiro, dan lapisan batuan dengan rapat massa $2,45 \text{ gr/cm}^3$ yang merupakan batuan sedimen Miosen Awal-Miosen Tengah; serta batuan dengan rapat massa $2,71 \text{ gr/cm}^3$, yang diduga sebagai batuan terobosan, yaitu diorit kuarsa.

Cekungan Wuas bukan merupakan graben, namun diduga sebagai cekungan yang dialasi oleh Formasi Kiro, dan diisi oleh batuan sedimen Miosen Awal-Miosen Tengah, yaitu Formasi Nangapanda dan Formasi Bari. Ke arah timur laut, Formasi Kiro relatif dangkal, dan batuan sedimennya menipis. Sementara itu, ke arah barat daya dari Cekungan Wuas nilai anomali meninggi, dan terdapat singkapan Formasi Kiro. Selanjutnya terdapat Sesar Ruteng yang menyebabkan terbentuknya cekungan sedimen Miosen Awal dan diduga diisi oleh Formasi Nangapanda dan Formasi Bari. Ke arah barat daya terdapat Sesar Ulumbu, sehingga batuan sedimen Miosen Awal-Miosen Tengah menebal, dan kemudian diterobos oleh batuan intrusi.

Diskusi

Di daerah penelitian terdapat beberapa lokasi manifestasi panas bumi Wai Sano, Wai Pesi, dan Ulumbu. Manifestasi tersebut terdiri atas fumarola, sumber mata air panas, geyser, dan erupsi freatik dan batuan alterasi (Bakrun dr., 2003). Manifestasi panas bumi Ulumbu terletak di Sungai Keke dengan elevasi antara 700 sampai 1300 m, nilai tahanan jenis adalah 10 ohm meter pada kedalaman 600 sampai 800 m, dengan temperatur air panas mencapai $76,94^\circ\text{C}$. Manifestasi panas bumi Wai Pesi berupa sumber air panas dengan temperatur 80°C pada ketinggian antara 100 sampai 150 m; dan manifestasi panas bumi Wai Sano terletak pada elevasi antara 600 sampai 660 meter, berupa sumber air panasnya, dengan temperatur mencapai $53,90^\circ\text{C}$ (Simanjuntak, 1985).

Prinsip dasar terbentuknya sistem panas bumi adalah adanya air meteorik (air hujan) yang meresap ke dalam bumi, dan kemudian air tersebut terpanaskan oleh magma, sehingga berubah menjadi uap. Uap tersebut terkumpul dalam suatu batuan wadah yang ditutupi oleh lapisan penutup yang kedap air.

Batuan pemanas berupa magma yang terletak di dalam perut bumi. Magma ini akan naik mendekati permukaan melalui zona lemah, yang biasanya berupa sesar. Adanya gejala panas bumi yang muncul di permukaan bumi menunjukkan bahwa ada uap panas yang bocor dari batuan wadah. Kebocoran tersebut biasanya disebabkan oleh adanya sesar yang memotong batuan wadah.

Sesar merupakan zona hancur, sehingga nilai densitasnya rendah. Oleh karena itu, sesar dapat diamati pada peta gaya berat, terutama sesar bawah permukaan. Sesar Ruteng, Sesar Ulumbu, dan Sesar Pocodedeng diduga mengontrol magma menjadi lebih dangkal, sehingga dapat berfungsi sebagai sumber panas. Munculnya manifestasi di permukaan diduga dikontrol oleh sesar-sesar minor yang tidak terlihat pada peta gaya berat.

Kesimpulan

- Kontur anomali gaya berat membentuk cekungan dan tinggian anomali yang menggambarkan pola konfigurasi batuan alas pada kala Miosen. Batuan alas terdiri atas Formasi Kiro yang tersusun oleh lava, breksi, tuf, dan batuan sedimen pengisi cekungan yang terdiri atas Formasi Nangapanda dan Formasi Bari.
- Struktur geologi utama yang dapat ditafsir dari data gravity adalah sesar. Sesar yang ada terdiri atas Sesar Ruteng, Sesar Ulumbu, Sesar Pocodedeng, dan Sesar Bajawa.
- Sesar Ruteng, sesar Ulumbu dan Sesar Pocodedeng mengontrol terbentuknya sistem panas bumi di daerah penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi dan Ketua Program Pemetaan dan Penelitian Ilmu Dasar atas koreksi dan dorongannya sehingga, tulisan ini dapat diterbitkan.

Acuan

- Bakrum Sundhoro H., Dirasutisna, S., Suryakusuma, D., Mustang, A., Situmorang T., 2003. Penyelidikan Terpadu daerah panas bumi Oka, Kab Flores Timur NTT, Subdit Panas Bumi, DIM.
- Katili, J.A., and Sudradjat, A., 1989. A Short Note on the Birth of a Volcano in Flores Island, *Geologi Indonesia*, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesai, Volume Khusus 60 Tahun Prof. DR. J.A. Katili, Hal 397 – 411.
- Koesoemadinata, S., Noya, Y., Kadarisman D., 1994. *Peta Geologi Lembar Ruteng, Nusa Tenggara*, skala 1:250.00, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung
- Nasution, A., Muraoka, H., Rani, M., Takhasima, I., Takahashi, M., Akasako, H., Matsuda K., and Badrudin, M., 2002. Geothermal prospects of Flores Island in Indonesia Viewed from their volcanism and hot water geochemistry, *Bulletin of Geological Survey of Japan*, vol 53 (2/3).
- Padmawidjaja, T. dan. Simamora, W. H., 1993. Laporan Pemetaan Gaya berat Lembar Ruteng, Flores, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Simanjuntak, J., 1985. Laporan - Studi Geofisika Tahanan Jenis Lapangan Panas bumi Ulumbu dan sekitarnya - Ruteng Kabupaten Manggarai - Flores Barat. V.S.I. Report.

JSDG