



POLA ALIRAN AIR PANAS BUMI DAERAH BITTUANG, KABUPATEN TANA TORAJA, SULAWESI SELATAN MENGUNAKAN METODE DENSITAS KELURUSAN DAN GEOINDIKATOR AIR PANAS

Prasetya Ikra P^{1*}, Agus Didit Haryanto¹, Johannes Hutabarat¹.

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: prasetya.ikrapriyadi@gmail.com

ABSTRAK

Bittuang, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan memiliki kondisi geologi yang mungkin terpengaruh oleh sistem panas bumi. Pada suatu sistem panas bumi terdapat zona upflow dan outflow. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui zona upflow dan outflow sistem panas bumi daerah Bittuang. Metode yang digunakan yaitu pembuatan peta densitas kelurusan menggunakan metode Fault Fracture Density, serta perbandingan beberapa unsur geoindikator yaitu Na/K, Cl / SO₄, SO₄ / HCO₃ dan Cl / [Na/K]. Pada daerah penelitian didapat 2489 kelurusan punggungan dan lembahan dengan trend dominan timurlaut - baratdaya, dapat dikelompokkan tiga kelas densitas, yaitu Densitas Rendah dengan nilai densitas < 29000 m/km², Densitas Sedang dengan nilai densitas 29000 – 34000 m/km², dan Densitas Tinggi dengan nilai densitas > 34000 m/km². Perbandingan rasio geoindikator menunjukkan zona upflow berada di baratdaya dari sumber panasnya yaitu Gunungapi Karua. Pada daerah penelitian, air panas mengalir ke arah baratdaya dari Gunungapi Karua, kemudian masuk ke zona upflownya dimana pada zona ini memiliki permeabilitas dan gradien suhu bawah permukaan yang paling tinggi. Air panas dari zona upflow kemudian mengalir lateral ke baratdaya - selatan ke zona outflow. Pada zona lateral flow ditemukan manifestasi berupa air panas kelompok Balla (APB-1, APB-2, dan APB-3) sedangkan pada zona outflow ditemukan manifestasi berupa air panas kelompok Cepeng (APC-2 dan APC-2)

Kata Kunci: *Panas Bumi Bittuang; Densitas Kelurusan; Outflow; Upflow; Geoindikator*

ABSTRACT

Bittuang, Tana Toraja Regency, South Sulawesi Province has geological conditions that might be affected by geothermal systems. In a geothermal system there are upflow and outflow zones. The purpose of this study was to determine the upflow and outflow zones of the Bittuang area geothermal system. The method used is making a straightness density map using the Fault Fracture Density method, as well as a comparison of several geoindicator elements there are Na / K, Cl / SO₄, SO₄ / HCO₃ and Cl / [Na / K]. In the study area 2489 lineament were obtained with the dominant northeast-southwest trend, which can be grouped into three density classes, which is Low Density with a density <29000 m / km², Medium Density with a density value of 29000 - 34000 m / km², and High Density with value of density > 34000 m / km². The comparison of the geoindicator ratio shows that the upflow zone is in the southwest of the heat source, Karua Volcano. In the study area of geothermal fluid flowing southwest from Karua Volcano, then enter the upflow zone where in this zone has the highest permeability and gradient of subsurface temperature. The fluid from the upflow zone then flows laterally to the southwest - south to the outflow zone. The lateral flow zone found manifestations in the form of hot water Balla group (APB-1, APB-2, and APB-3) while in the outflow zone found manifestations of Cepeng group hot water (APC-2 and APC-2)

Keywords: *Bittuang Geothermal; Fault and Fracture Density; Outflow; Upflow; Geoindikator*

1. PENDAHULUAN

Bittuang, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan memiliki kondisi geologi yang mungkin terpengaruh oleh sistem panas bumi. Pada daerah tersebut muncul beberapa manifestasi panas bumi seperti mata air panas, fumarola, air kawah, dan beberapa batuan yang teralterasi akibat proses hidrotermal.

Secara administratif daerah panas bumi Bittuang termasuk ke dalam wilayah kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan. Tepatnya berada pada lembang Balla dan lembang Neneng.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola aliran air panas meliputi keberadaan zona aliran dari sistem panas bumi daerah Bittuang menggunakan analisis densitas kelurusan dan geoindikator.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

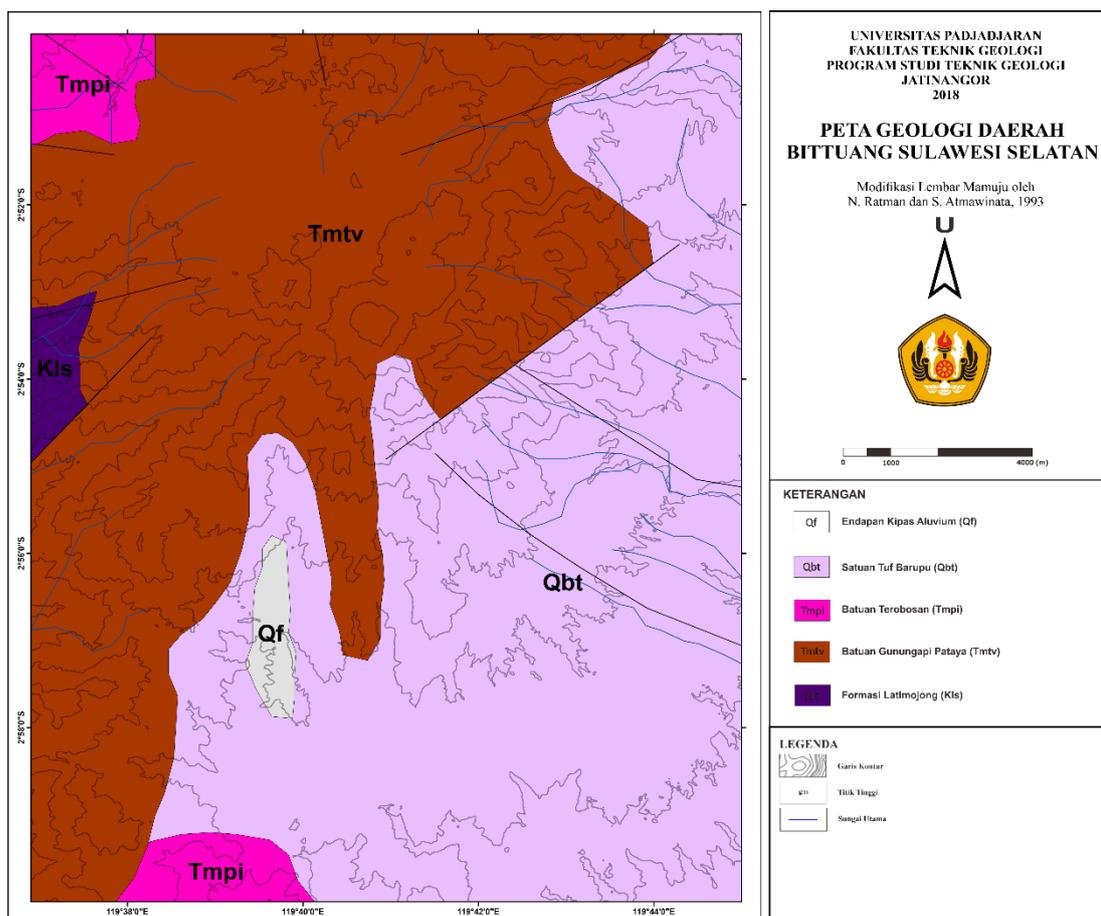
2.1 Geologi Regional

Daerah penelitian berada pada bagian selatan Peta Geologi Lembar Mamuju skala

1 : 250.000 (N Ratman dan S. Atmawinata, 1933).

Susunan stratigrafi dapat disusun dari tua ke muda yaitu:

- Formasi Latimojong (Kls), terdapat pada bagian barat – baratlaut daerah penelitian. Tersusun atas filit, kuarsit, batulempung malih, dan pualam yang berumur Kapur Akhir.
- Satuan Gunungapi Talaya (Tmtv), terdapat pada bagian barat dan sebagian besar daerah utara penelitian, menumpang diatas Formasi Latimojong secara tidak selaras. Tersusun atas breksi lava, breksi tuf, tuf lapilli bersisipan tuf dan batupasir, rijang, serpih napal, batupasir karbonan dan batubara. Diendapkan pada lingkungan laut dalam sampai dangkal dan sebagian pada lingkungan darat. Satuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah – Pliosen.
- Batuan terobosan (Tmpl) yang terdiri dari granit, granodiorit, dan riolit yang terdapat pada bagian selatan – baratdaya dari daerah penelitian. Diperkirakan berumur Miosen Akhir – Pliosen Awal.
- Satuan Tuf Barupu (Qbt) yang terdapat pada bagian selatan dan timur daerah penelitian dan menumpang diatas Satuan Gunungapi Talaya dan Formasi Latimojong secara tidak selaras. Tersusun atas tuf, tuf lapilli, tuf hablur bersusunan dasit, dan sedikit breksi lava. Satuan ini diperkirakan berumur Pleistosen.
- Formasi Budong-budong (Qf) yang terdapat pada sebagian kecil bagian tengah dan merupakan formasi termuda pada daerah penelitian. Tersusun atas konglomerat, dan batupasir bersisipan batugamping koral dan batulempug. Diperkirakan berumur Pleistosen – Holosen.



Gambar 2. Peta Geologi Regional pada Daerah Penelitian berdasarkan Peta Geologi Lembar Mamuju skala 1 : 250.000 (hasil modifikasi H. Ratman dan S. Atmawinata, 1993)

2.2 Sistem Panas Bumi

Sumber panas bumi merupakan suatu sumber panas dari dalam perut bumi yang kemudian panas tersebut ditransfer ke permukaan bumi, sumber panas ini dapat berasal dari dapur magma, tubuh intrusi atau panas akibat dari proses pembebanan.

Reservoir panas bumi merupakan tempat penyimpanan fluida panas yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik untuk mengalirkan fluida panas tersebut (Hochstein, 1988).

Fluida panas bumi merupakan media penghantar panas/entalpi dari sumber panas ke permukaan bumi. Fluida panas bumi ini dapat berupa air panas (*hot water*) ataupun uap panas (*steam*).

Caprock merupakan batuan penutup yang berada diatas reservoir. Batuan ini memiliki permeabilitas yang buruk dan konduktifitas panas yang kecil sehingga

fluida panas dalam reservoir tetap terjaga entalpinya.

Dalam suatu sistem panas bumi terdapat zona upflow dan outflow, zona upflow merupakan zona potensi panas bumi yang memiliki permeabilitas serta gradient suhu bawah permukaan yang lebih tinggi daripada zona outflow, sementara zona outflow merupakan zona tempat terjadinya lateral flow fluida panas bumi, dicirikan oleh air panas berupa air panas bikarbonat (Nicholson, 1993).

Zona upflow juga dapat dicirikan oleh kehadiran air panas berjenis air sulfat, sedangkan zona outflow dicirikan oleh kehadiran air panas berjenis bikarbonat (Yoga A., 2012)

2.3 Manifestasi Air Panas

Mata air panas menjadi objek utama dalam penelitian kali ini. Berdasarkan lokasi dan karakteristiknya, manifestasi air panas dapat dibagi menjadi 5 kelompok, yaitu :

1) Mata Air Panas Balla 1 (APB-1)

Berada pada elevasi 1592 meter di atas permukaan laut, berada pada pemukiman terdekat lembang Balla. Secara fisik air panas memiliki temperatur manifestasi 96.7°C, nilai pH 8.40, dengan debit 1.0 L/detik. Daya hantar listrik terukur sekitar 9700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Air panas ini memiliki karakter yang jernih, rasa asin, dan ditemui endapan-endapan sinter silika.

2) Mata Air Panas Balla-2 (APB-2)

Berada pada elevasi 1592 meter di atas permukaan laut, berada di dekat stasiun APB-1. Secara fisik air panas memiliki temperatur manifestasi 90.5°C, nilai pH 7.75, dengan debit 0.5 L/detik. Daya hantar listrik terukur sekitar 8400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Air panas ini memiliki karakter yang jernih, rasa asin, dan ditemui endapan-endapan sinter silika.

3) Mata Air Panas Balla-3 (APB-3)

Berada pada elevasi 1680 meter di atas permukaan laut, berada pada pemukiman terdekat lembang Balla. Secara fisik air panas memiliki temperatur manifestasi 48.1°C, nilai pH 5.40, dengan debit 2.0 L/detik. Daya hantar listrik terukur sekitar 222 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Air panas ini memiliki karakter yang jernih, rasa masam, dan ditemui endapan-endapan berwarna kuning pada dasar aliran.

4) Mata Air Panas Cepeng-1 (APC-1)

Berada pada elevasi 1256 meter di atas permukaan laut, muncul dari dinding tebing pesawahan dekat dengan pemukiman lembang Neneng. Secara fisik air panas memiliki temperatur manifestasi 37.6°C, nilai pH 6.28, dengan debit 1.0 L/detik. Daya hantar listrik terukur sekitar 2630 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Air panas ini memiliki karakter yang

jernih, rasa masam, dan ditemui endapan-endapan oksida besi berwarna coklat pada dasar aliran.

5) Mata Air Panas Cepeng-2 (APC-2)

Berada pada elevasi 1269 meter di atas permukaan laut, muncul di dekat kali putih lembang Neneng. Secara fisik air panas memiliki temperatur manifestasi 39.8°C, nilai pH 5.97, dengan debit 2.0 L/detik. Daya hantar listrik terukur sekitar 1241 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Air panas ini memiliki karakter yang jernih, rasa sangat asam, dan ditemui endapan-endapan oksida besi berwarna coklat pada dasar aliran.

3. METODE

3.1 Densitas Kelurusan

Analisis densitas kelurusan menggunakan data citra satelit berupa DEMNAS Geotiff 32bit float dengan resolusi 0.27-arcsecond. Analisis kelurusan dilakukan dengan menarik setiap garis kelurusan yang ada. Penarikan garis ini dilakukan menggunakan 4 azimuth pencahayaan, yaitu 45°, 0°, 315°, dan 270° dengan ketinggian pencahayaan 45°. Kemudian dilakukan gridding dengan jarak 2x2 km dan dihitung setiap panjang kelurusan pada setiap masing-masing gridnya yang nantinya dijadikan sebagai nilai densitas kelurusan setiap grid.

Setelah nilai densitas tersebut didapat dibuat peta densitas kelurusan menggunakan metode *fault fracture density*. Nilai kontur yang tinggi menandakan nilai kerapatan densitas kelurusan yang tinggi pula. Dibuat diagram rose untuk melihat dominasi arah dari setiap kelurusan dari masing-masing punggung dan lembahan. Dilakukan interpretasi daerah anomali densitas tinggi, dimana daerah yang memiliki anomali densitas tinggi menandakan kemungkinan zona permeabel atau zona upflow suatu sistem panas bumi.

3.2 Geoindikator

Geoindikator merupakan suatu metode untuk menentukan zona upflow dan outflow pada sistem panas bumi serta menentukan aliran air panasnya. Dalam penentuan geoindikator terdapat 2 jenis unsur, yaitu tracer yang merupakan larutan non-reaktif seperti klorida dan boron dan geoindikator yang merupakan larutan reaktif dan mencirikan proses yang terjadi di reservoir seperti natrium dan kalium (Syabi dkk., 2017).

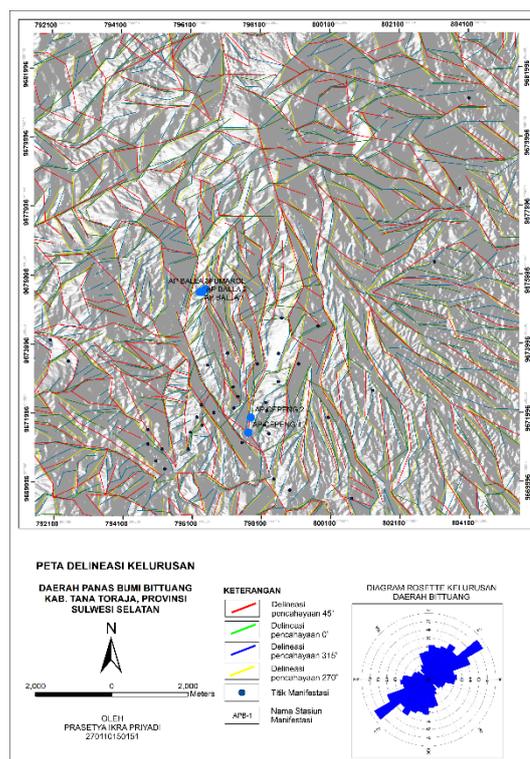
Pada analisis geoindikator digunakan data kimia air dari manifestasi di daerah penelitian yaitu AP1 dan AP3. Kemudian dilakukan beberapa perbandingan geoindikator yaitu Na/K , Cl / SO_4 , SO_4 / HCO_3 dan $Cl / [Na/K]$. Hasil analisis densitas kelurusan dan geoindikator kemudian dikorelasikan untuk mendelineasi zona Upflow dari sistem panas bumi daerah penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Densitas Kelurusan

Penarikan garis lurus dilakukan pada citra satelit DEMNAS dengan resolusi 0.27-arcsecond, pola kelurusan yang dapat dilihat pada gambar 3. Didapatkan total 2489 delineasi kelurusan yang merupakan gabungan dari hasil proyeksi sudut pencahayaan 45° , 0° , 315° , dan 270°

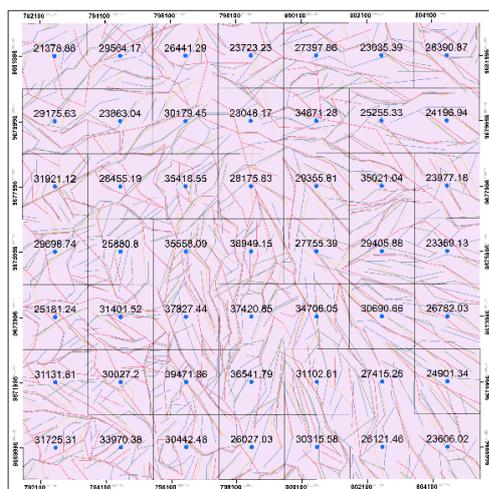
Pada diagram roset (Gambar 3), didapatkan secara umum arah kelurusan pada daerah penelitian memiliki arah timurlaut - baratdaya dengan nilai trend $230 - 240$ derajat. Arah ini berkesesuaian dengan kondisi geologi struktur secara regional.



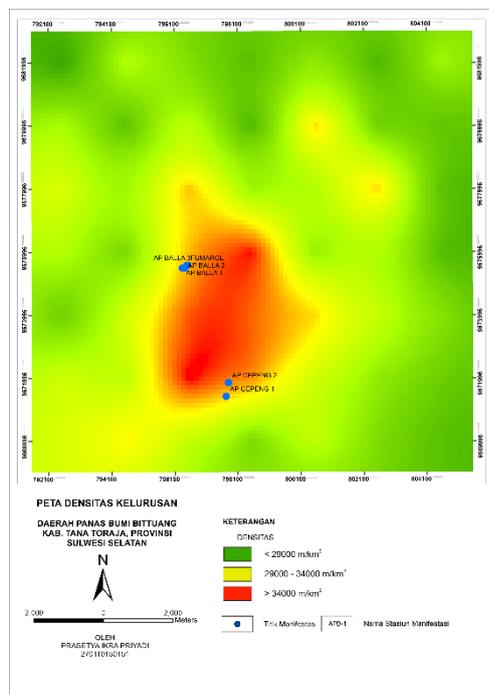
Gambar 3. Hasil delineasi kelurusan pada DEMNAS daerah bittuang.

Setelah semua data kelurusan didelineasi, dibuat grid 2×2 km untuk menentukan densitas kelurusan tiap grid tersebut yang kemudian dibuat peta densitas kelurusan.

Berdasarkan peta densitas kelurusan (Gambar 5), daerah penelitian dapat dikelompokkan tiga kelas densitas, yaitu Densitas Rendah dengan nilai densitas < 29000 m/km^2 , Densitas Sedang dengan nilai densitas $29000 - 34000$ m/km^2 , dan Densitas Tinggi dengan nilai densitas > 34000 m/km^2 . Daerah dengan nilai densitas tinggi berasosiasi dengan litologi lava dan piroklastik. Kenampakan topografi juga menunjukkan adanya beberapa struktur rekahan dan sesar yang mengontrol deformasi daerah ini. Struktur-struktur ini lah yang diperkirakan mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi.



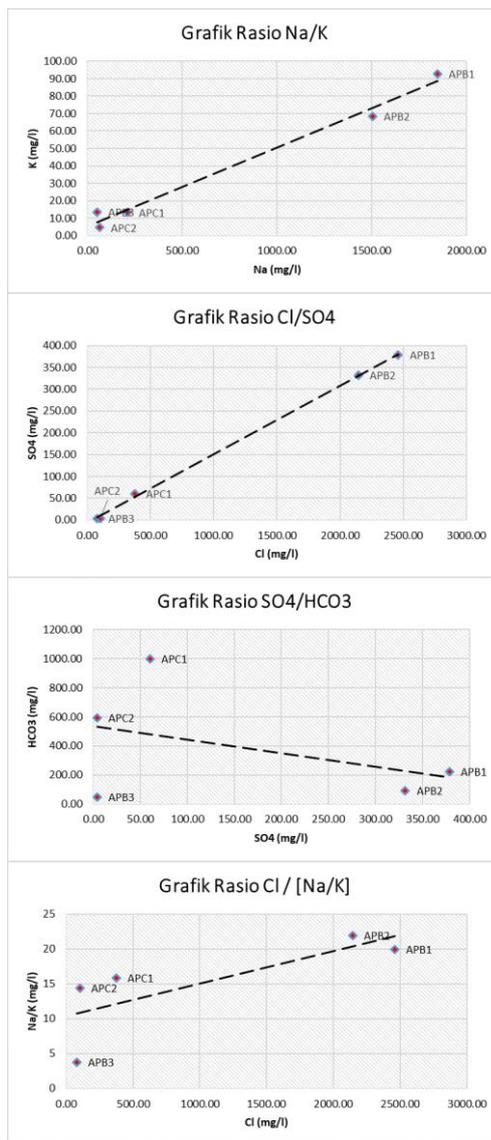
Gambar 4. Hasil perhitungan densitas kelurusan pada masing-masing grid



Gambar 5. Peta densitas kelurusan Menggunakan Metode *fault fracture density*

4.2 Geoindikator

Penentuan arah aliran air panas pada daerah penelitian dapat ditentukan melalui beberapa geoindikator untuk mengetahui lokasi manifestasi terhadap zona *upflow* dan *outflow* dari sistem panas bumi. Digunakan geoindikator rasio Na/K, rasio Cl / SO₄, rasio SO₄ / HCO₃ dan rasio Cl / [Na/K].



Gambar 6. Hasil grafik hubungan rasio pada masing-masing mata air panas: 1) rasio Na/K, 2) rasio Cl / SO₄, 3) rasio SO₄ / HCO₃ dan 4) rasio Cl / [Na/K].

Berdasarkan hasil grafik hubungan baik grafik rasio Na/K, rasio Cl / SO₄, rasio SO₄ / HCO₃ dan rasio Cl / [Na/K], semua manifestasi air panas memiliki arah trend yang sama, namun memiliki persebaran yang terpisah. Didindikasikan bahwa air panas APB-1 dan APB-2 memiliki asal air panas yang sama yaitu *brine water* yang berasal dari air formasi kaya klorida membentuk air klorida.

Untuk APB-3 walaupun berada di dekat APB-1 dan APB-2, namun memiliki nilai Cl yang jauh lebih rendah, tidak berbeda jauh

dengan kandunga HCO_3 . Hal ini mengindikasikan bahwa air panas merupakan hasil pencampuran air klorida dan air meteorik yang terjadi di dekat permukaan membentuk campuran air klorida-bikarbonat.

Sedangkan pada APC-1 dan APC-3 air panas merupakan hasil pencampuran air meteorik dengan kondensasi uap air dan gas CO_2 membentuk air bikarbonat.

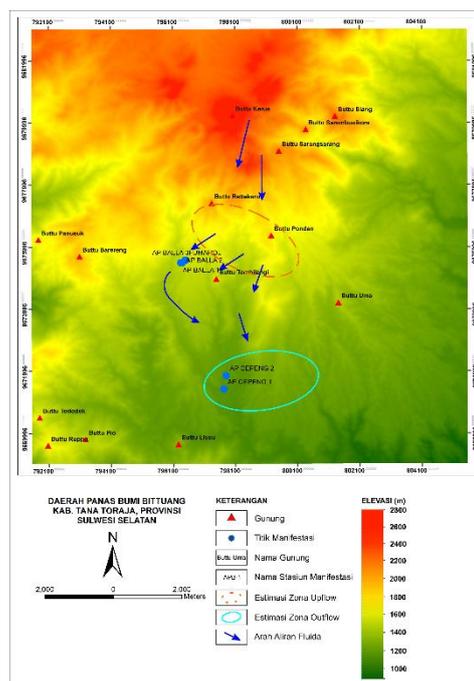
Perhitungan rasio geoindikator yang ditunjukkan pada tabel 1 (lampiran), yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing manifestasi, APB-1, APB-2, dan APB-3 terindikasi berada di dekat zona *upflow*. Sedangkan untuk APC-1 dan APC-2 berada di dekat zona *outflow*.

4.3 Zona Upflow dan Outflow

Zona upflow daerah penelitian didelineasi berdasarkan nilai anomali densitas tinggi pada peta densitas kelurusan (Gambar 5) yang memiliki nilai densitas melebihi 34000 m/km^2 , diindikasikan oleh rona warna merah. Sementara zona outflow dan arah aliran air panasnya diinterpretasi dari nilai geoindikator.

Sumber panas bumi daerah penelitian diinterpretasikan berasal dari Gunungapi Karua atau Buttu Karua.

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa zona upflow berada di baratdaya dari sumber panasnya yaitu Gunungapi Karua. Pada daerah penelitian air panas mengalir ke arah baratdaya dari Gunungapi Karua, kemudian masuk ke zona upflownya dimana pada zona ini memiliki permeabilitas dan gradien suhu bawah permukaan yang paling tinggi. Air panas dari zona upflow kemudian mengalir lateral ke baratdaya - selatan ke zona outflow. Pada zona lateral flow ditemukan manifestasi berupa air panas kelompok Balla (APB-1, APB-2, dan APB-3) sedangkan pada zona outflow ditemukan manifestasi berupa air panas kelompok Cepeng (APC-2 dan APC-2)



Gambar 6. Peta zona upflow/outflow daerah penelitian.

5. KESIMPULAN

Pada daerah penelitian terdapat 2489 kelurusan punggungan dan lembahan dengan menunjukkan trend dominan yang relatif sama yaitu timurlaut – baratdaya.

Berdasarkan peta densitas kelurusan daerah penelitian dapat dikelompokkan tiga kelas densitas, yaitu Densitas Rendah dengan nilai densitas $< 29000 \text{ m/km}^2$, Densitas Sedang dengan nilai densitas $29000 - 34000 \text{ m/km}^2$, dan Densitas Tinggi dengan nilai densitas $> 34000 \text{ m/km}^2$. Daerah dengan nilai densitas tinggi berasosiasi dengan litologi lava dan piroklastik. Daerah dengan anomali tertinggi terpusat pada bagian tengah hingga selatan daerah penelitian.

Zona upflow berada di baratdaya dari sumber panasnya yaitu Gunungapi Karua. Pada daerah penelitian air panas mengalir ke arah baratdaya dari Gunungapi Karua, kemudian masuk ke zona upflownya dimana pada zona ini memiliki permeabilitas dan gradien suhu bawah permukaan yang paling tinggi. Air panas dari zona upflow kemudian mengalir lateral

ke baratdaya - selatan ke zona outflow. Pada zona lateral flow ditemukan manifestasi berupa air panas kelompok Balla (APB-1, APB-2, dan APB-3) sedangkan pada zona outflow ditemukan manifestasi berupa air panas kelompok Cepeng (APC-2 dan APC-2)

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, Yoga, dkk. 2012. *Studi Geokimia Air Panas Area Prospek Panabumi Gunung Kendalisodo Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Teknik: Vol. 33, No. 1, tahun 2012, Hal 32-36
- Cyrke A.N. Bujung, dkk. 2011. *Identifikasi Prospek Panas Bumi Berdasarkan Fault Fracture Density (FFD): Studi Kasus Gunung Patuha, Jawa Barat*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 2, No.1, April 2011 Hal 67-75
- Dermawan, Fikri A. dkk. 2014. *Model Hidrogeologi Dan Sistem Panasbumi Lapangan X, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara Menggunakan Analisis Geokimia Dan Alterasi Mineral*. FTKE – Trisakti
- Fournier, R.O. 1977. *Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems*. Pergamon Press, Geothermics, Vol. 5, hal 41-50.
- Hochstein, M. P. 1988. *Assessment and modelling of geothermal reservoirs (small utilization schemes)*. Geothermics, 17(1), 15–49.
- Hochstein, M. P., & Caldwell, T. G. 1985. *Heat source characteristics of some warm and hot spring systems in China*. Auckland: Auckland University.
- Juhri, Saefudin, dkk. 2016. *Karakteristik Geokimia Air Panas Bumi di Sekitar Gunung Slamet*. Prooceding Seminar Nasional Kebumian ke-9, Peran Penelitian Ilmu Kebumian dalam Pemberdayaan Masyarakat 6-7 Oktober 2016
- Nahli, K., dkk. 2016. *Identifying Non-Volcanic Geothermal Potential in Amohola, Southeast Sulawesi Province, by Applying the Fault and Fracture Density (FFD) Method*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 42(1).
- Nasruddin, dkk. (2016). *Potential of geothermal energy for electricity generation in Indonesia: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 733–740.
- Nicholson, K. 1993. *Geothermal Fluids : Chemistry and Exploration Techniques*. Berlin: Springer-Verlag.
- Ratman, N. dan Atmawinata, S. 1993. *Peta Geologi Lembar Mamuju, Sulawesi Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- Syabi, H. F., dkk. 2017. *Determining Upflow/Outflow Zone and Fluid Flow in Geothermal Prospect Area Based on Geoindicator Comparison Value : A Case Study of Mt. Telomoyo, Central Java, Indonesia*. Jakarta: PROCEEDINGS, The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2017.
- Tim Survei Terpadu PSDG. 2009. *Survei Panas Bumi Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Bittuang, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan*. Bandung: PSDG.

Tabel 1 Perhitungan geoindikator rasio Na/K, rasio Cl / SO₄, rasio SO₄ / HCO₃ dan rasio Cl / [Na/K].

sampel	Na (mg/l)	K (mg/l)	rasio Na/K	Aliran	sampel	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	rasio Cl / SO ₄	Aliran
APB-3	50.80	13.61	3.73	Upflow ↓ Outflow	APB-2	2144.00	331.67	6.46	Upflow ↓ Outflow
APB-1	1848.00	92.60	19.96		APB-1	2459.71	378.58	6.50	
APB-2	1504.00	68.50	21.96		APB-3	80.13	4.00	20.03	
APC-2	65.68	4.56	14.40		APC-1	376.40	60.33	6.24	
APC-1	210.96	13.30	15.86		APC-2	105.11	4.00	26.28	

sampel	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	rasio Na/K	Aliran	sampel	Cl (mg/l)	Na/K (mg/l)	rasio Na/K	Aliran
APB-2	331.67	91.17	3.64	Upflow ↓ Outflow	APB-1	2459.71	19.96	123.25	Upflow ↓ Outflow
APB-1	378.58	223.00	1.70		APB-2	2144.00	21.96	97.65	
APB-3	4.00	49.35	0.08		APB-3	80.13	3.73	21.48	
APC-1	60.33	998.25	0.06		APC-1	376.40	15.86	23.73	
APC-2	4.00	592.94	0.01		APC-2	105.11	14.40	7.30	