

KARAKTERISTIK INDEKS GEOMORFIK TERHADAP KEMUNCULAN MANIFESTASI PANAS BUMI DI DAERAH KARAHA-TALAGA BODAS, PROVINSI JAWA BARAT

Ghina Husni Fahira^{1*}, Nana Sulaksana¹, Dewi Gentana¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: ghina17006@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Daerah penelitian secara administratif berada di Kabupaten Tasikmalaya dan Garut, Provinsi Jawa Barat. Penyebaran manifestasi panas bumi di daerah penelitian terdapat di 3 (tiga) daerah, yaitu Talaga Bodas, Karaha, dan Astana. Terbentuknya struktur geologi sebagai jalur kemunculan manifestasi panas bumi dari bawah permukaan disebabkan oleh aktivitas tektonik. Aktivitas tektonik daerah penelitian di analisis melalui interpretasi kelurusan geologi dan perhitungan beberapa variabel indeks geomorfik: rasio percabangan sungai (Rb), kerapatan pengaliran (Dd), sinusitas muka gunung (Smf), dan kerapatan kelurusan (Ld). Penelitian bertujuan untuk mengetahui hubungan karakteristik indeks geomorfik terhadap kemunculan manifestasi panas bumi permukaan. Hasil analisis pola kelurusan dan perhitungan indeks geomorfik memperlihatkan kemunculan manifestasi panas bumi berada di daerah yang memiliki pola utama kelurusan geologi berarah Barat Laut - Tenggara (NW – SE), pada daerah terdeformasi dan tidak terdeformasi (nilai Rb: 2,84-2,90), tekstur bentang alam sedang hingga kasar (nilai Dd: 2,34-3,12 km⁻¹), tingkat tektonik sedang sampai aktif (nilai Smf: 1,55-1,78) dan kerapatan kelurusan rendah hingga tinggi (nilai Ld: 0,191-0,959 km⁻¹).

Kata Kunci: Indeks Geomorfik, Manifestasi Panas Bumi, Pola Kelurusan.

ABSTRACT

The research area is administratively located in the Districts of Tasikmalaya and Garut, West Java Province. Geothermal manifestations in the research area are found in 3 (three) areas, namely Talaga Bodas, Karaha, and Astana. The formation of geological structures the appearance of geothermal manifestations from below the surface caused by tectonic activity. The tectonic activity of the study area was analyzed through the interpretation of geological lineaments and the calculation of several geomorphic index variables: ratio of bifurcation (Rb), drainage density (Dd), mountain front sinuosity (Smf), and lineament density (Ld). The purpose of the study to determine the relationship between the characteristics of the geomorphic index on the appearance of surface geothermal manifestations. The results of the analysis of lineament patterns and the calculation of the geomorphic index of the appearance of geothermal manifestations are in areas that have the main pattern of geological lineage trending North West – South East (NW - SE), in deformed and non-deformed areas (Rb value: 2.84-2.90), medium to rough landscape texture (Dd value: 2.34-3.12 km⁻¹), moderate to active tectonic level (Smf value: 1.55-1.78) and low to high lineament density (Ld value: 0.191-0.959 km⁻¹).

Keywords: *Geomorphic Index, Geothermal Manifestation, The Pattern of Lineaments.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk ke dalam busur vulkanik yang membentang dari Pulau Sumatera hingga Busur Banda. Total potensi sumber daya panas bumi di Indonesia sebesar 23.965,5 megawatt dengan kapasitas terpasang hingga tahun 2019 sebesar 2130,7 megawatt dan menempati peringkat kedua dari seluruh dunia (EBTKE, 2020). Kemunculan manifestasi panas bumi dari suatu sistem panas bumi dari kedalaman ke permukaan dipengaruhi oleh adanya zona permeabel, yaitu jalur keluarnya panas bumi dari reservoir menuju permukaan bumi. Zona permeabel merupakan zona lemah yang terbentuk akibat pengaruh struktur geologi yang membentuk rekahan-rekahan pada batuan yang terjadi akibat adanya tektonik.

Daerah penelitian terletak pada koordinat 107°57'36.23" BT sampai 108° 9'53.54" BT dan 7° 5'34.28" LS sampai 7°17'42.21" LS. Secara administratif terletak di Kabupaten Tasikmalaya dan Garut, Provinsi Jawa Barat. Pada daerah penelitian terdapat manifestasi panas bumi mata air panas, fumarol, dan *mud pool*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola utama kelurusan geologi yang berasosiasi dengan karakteristik indeks geomorfik dan tingkat aktivitas tektonik, serta korelasinya terhadap kemunculan manifestasi panas bumi di daerah penelitian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Daerah penelitian berada pada Peta Geologi Regional Lembar Garut (Alzwar, 1992) dan Tasikmalaya (Budhitrisna, 1986), seluruh batuan penyusun daerah penelitian secara regional terdiri atas batuan yang berumur Kuartar yaitu; (1) aluvium yang tersusun oleh Lempung, lanau, pasir halus hingga kasar dan kerikil serta bongkah-bongkah batuan beku dan sedimen, (2) Breksi Gunung Api Muda (G. Galunggung dan G. Talaga Bodas) yang tersusun oleh Breksi gunungapi, lahar dan tufa bersusun andesit sampai basal dari G.

Galunggung (Qvg) dan G. Talagabodas (Qvt), (3) Breksi Gunung Api G. Galunggung yang tersusun oleh Breksi gunung api mengandung bongkahan lava andesit, membentuk gumuk berukuran beberapa meter sampai 1 km, hasil longsoran, (4) Endapan Rempah Lepas Gunung Api yang tersusun oleh Abu gunungapi dan lapili, tuf pasir, bongkah-bongkah, andesit basal, breksi lahar dan rempah lepas, (5) Breksi Gunung Api Tua (G. Cakrabuana dan G. Kukus) yang tersusun oleh Breksi gunungapi, breksi aliran, tufa dan lava bersusunan andesit sampai basal (Gambar 1).

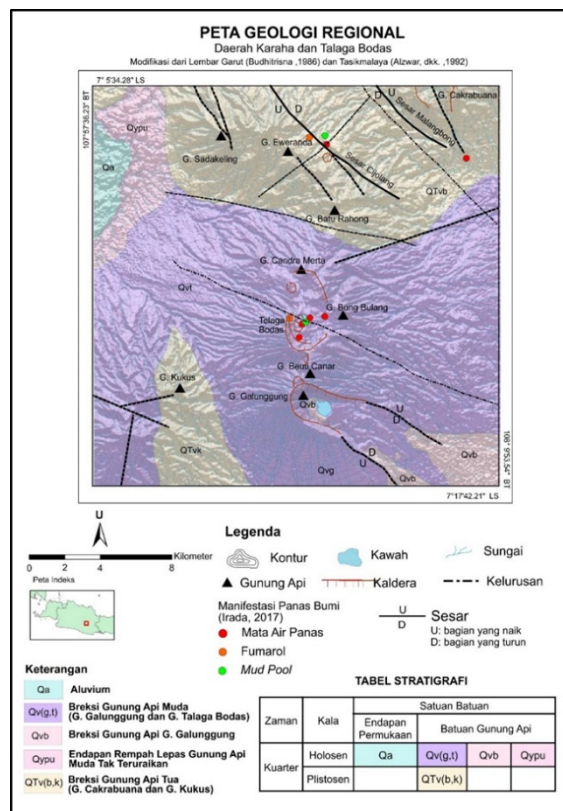
Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian yaitu berupa sesar. Pola sesar di kawasan Gunung Galunggung, Bung Bulang, Kukus, Sadakeling berarah Barat Laut - Tenggara dan beberapa pola berarah Barat Daya - Timur Laut merupakan sesar naik dan sesar normal. Terdapat tiga struktur sesar di daerah ini yaitu sesar Malangbong, sesar Cijolang, dan sesar Karaha (Irada, 2017). Struktur dominan yang mengontrol daerah penelitian berarah Barat Laut - Tenggara disertai dengan keberadaan struktur sirkuler atau kawah yang berada di daerah Talaga bodas dan Galunggung (Danakusumah, 2019).

Sistem panas bumi di daerah penelitian termasuk ke dalam kelas yang sebagian didominasi uap dengan temperatur sumur berkisar antara 250°-300° C dan *reservoir* uap berada di atas *brine reservoir* (Prabata, 2019). Hasil survey resistivitas di lapangan Karaha – Talaga Bodas mempunyai nilai berkisar dari 5-20 Ω m. Bagian Utara dari punggung Karaha mempunyai nilai resistivitas 10-20 Ω m, bagian Selatan daerah penelitian mempunyai nilai resistivitas yang lebih rendah dengan kisaran 5-10 Ω m karena terdapat indikasi alterasi argilik (Allis, 2000).

2.2 Pola Kelurusan

Kelurusan adalah fitur garis yang diperoleh dari hasil zona lemah atau pergerakan struktural seperti patahan di kerak bumi. Fitur kelurusan didefinisikan secara geomorfis sebagai rompi permukaan linear sederhana

atau berupa gabungan yang terpetakan, bagian-bagian yang lurus secara linear maupun linear membelok, dapat dibedakan dengan jelas dari roman yang berdekatan dan mencerminkan fenomena bawah permukaan (O'Leary, 1976; Hung, 2005). Penyebaran manifestasi panas bumi dapat diketahui melalui pola atau arah kelurusan yang berguna dalam mengidentifikasi pola struktur utama (Hermawan, 2011).



Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian (Budhitrisna, 1986 dan Alzwar, 1992)

2.3 Indeks Geomorfik

Indeks geomorfik adalah pengukuran tentang parameter-parameter bentuk lahan yang mempunyai nilai yang pasti. Nilai tertentu dari variabel indeks geomorfik akan menunjukkan suatu karakteristik yang menggambarkan perkembangan struktur geologi akibat aktivitas tektonik suatu daerah. Indeks geomorfik dapat menjadi parameter dari perubahan litologi maupun tektonik dari suatu proses erosi di suatu daerah (Keller, 2002).

2.3.1 Morfometri

Morfometri adalah penilaian kuantitatif dari bentuk lahan yang akan menghasilkan angka-angka yang jelas. Morfometri daerah aliran sungai didefinisikan sebagai aspek kuantitatif suatu bentuk lahan (Van Zuidam, 1983). Suatu DAS terbagi menjadi beberapa sub-DAS, dan sub-DAS dapat terbagi menjadi beberapa sub-sub-DAS. Beberapa variabel morfometri DAS dapat digunakan untuk mendukung pemahaman karakteristik tatanan geologi setempat (Sukiyah, 2017).

2.3.1.1 Rasio Percabangan Sungai (Rb)

Nisbah percabangan (Rb) merupakan perbandingan antara jumlah panjang segmen sungai dari suatu orde sungai (ΣNu) dengan jumlah segmen sungai pada orde berikutnya ($\Sigma Nu+1$). Rumus untuk mengetahui nilai dari nisbah percabangan adalah:

$$Rb = \Sigma Nu / \Sigma Nu+1 \dots\dots\dots (1)$$

Bila nilai Rb <3 atau Rb >5 maka DAS tersebut telah mengalami deformasi yang dikontrol oleh pengaruh aktivitas tektonik (Verstappen, 1983; Sukiyah, 2017).

2.3.1.2 Kerapatan Pengaliran (Dd)

Kerapatan pengaliran (Dd) adalah angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS, dirumuskan sebagai perbandingan antara jumlah panjang segmen sungai (ΣL) dengan luas DAS atau sub-DAS (A) tersebut. Nilai Dd dapat diperoleh melalui rumus perhitungan:

$$Dd = \Sigma L / A \dots\dots\dots (2)$$

Nilai kerapatan pengaliran yang rendah mencirikan bahwa daerah tersebut dialasi oleh batuan yang memiliki permeabilitas yang tinggi, tekstur pengaliran yang kasar, dan sebaliknya (Van Zuidam, 1983; Sukiyah, 2012). Klasifikasi tekstur bentang alam vulkanis Kuartar berdasarkan kerapatan pengaliran terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi kerapatan pengaliran (Dd) (Sukiyah, 2009)

No.	Tekstur	Dd (km ⁻¹)
1	Sangat kasar	0,00 s/d 1,37
2	Kasar	1,38 s/d 2,75
3	Sedang	2,76 s/d 4,13
4	Agak halus	4,14 s/d 5,51
5	Halus	5,52 s/d 6,89
6	Sangat halus	6,90 s/d 8,27

2.4 Morfotektonik

Morfotektonik merupakan karakter bentang alam yang berhubungan dengan tektonik. Pada skala regional fenomena tektonik dapat dikenali dari beberapa bentang alam yang khas seperti gawir, lembah, kelurusan perbukitan, kelurusan sungai, pola pengaliran, dan sebagainya (Doornkamp, 1986). Berdasarkan perhitungan indeks morfotektonik terhadap data yang diperoleh dari peta topografi, foto udara, dan citra satelit dapat diketahui informasi mengenai perkembangan struktur geologi dan tingkat keaktifannya yang dapat menjadi salah satu pemicu terbentuknya bidang lemah berupa rekahan-rekahan pada batuan (Gentana, D., 2018).

2.4.1.1 Sinusitas Muka Gunung (Smf)

Sinusitas Muka Gunung (Smf) merupakan perbandingan antara nilai panjang dari muka gunung (Lmf) dengan garis tegak lurus dari muka gunung (Lms), merupakan indeks yang mencerminkan keseimbangan antara gaya erosional yang cenderung memotong sehingga membentuk cekungan pada muka punggung dengan gaya tektonik yang cenderung menghasilkan bentuk muka gunung lurus. (Bull dan McFaDden, 1977; Doornkamp, 1986). Nilai Smf dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Smf = Lmf / Ls \dots\dots\dots (3)$$

Nilai Smf yang dihasilkan akan menunjukan tingkat aktivitas tektonik di daerah tersebut. Kelompok tingkat keaktifan tektonik terbagi menjadi 3 (tiga) kelas terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi sinusitas muka gunung (Smf)

(Bull dan McFaDden, 1977)

Kelas	Smf	Aktivitas Tektonik
1	1,2 - 1,6	Tektonik aktif
2	1,8 - 3,4	Tektonik menengah hingga lemah
3	2,0 - 7,0	Tektonik tidak aktif

2.4.1.2 Kerapatan Kelurusan (Ld)

Kelurusan geologi (lineaments) merupakan cerminan morfologi yang teramati di permukaan bumi sebagai hasil dari aktivitas gaya geologi dari dalam bumi (Hung, 2005). Kerapatan kelurusan (Ld) adalah rasio antara panjang total kelurusan (F) dan luas perhitungan (A). Metode kerapatan kelurusan (lineament density) pertama kali dilakukan oleh Soengkono (1999) dengan rumus:

$$Ld = F/A \dots\dots\dots (4)$$

Kerapatan kelurusan geologi yang tinggi memperlihatkan daerah densitas tinggi, dimana daerah tersebut mengindikasikan kemungkinan zona permeabel yang berasosiasi dengan reservoir panas bumi. Hal ini merupakan gambaran adanya struktur geologi intensif pada daerah tersebut dan dibuktikan berupa manifestasi permukaan geothermal maupun hadirnya mineral-mineral hasil alterasi (Sumintadireja, 2005).

2.4 Sistem Panas Bumi

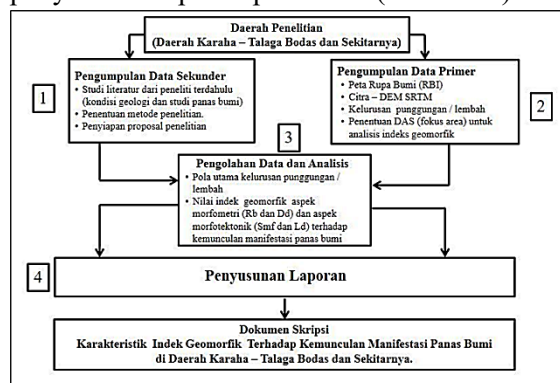
Sistem panas bumi merupakan perpindahan energi panas secara alami dalam volume tertentu di kerak bumi dimana panas dipindahkan dari sumber panas ke zona pelepasan panas. Sistem panas bumi berdasarkan besarnya temperatur terbagi menjadi tiga kelompok yaitu suhu rendah, sedang, dan tinggi. Sistem bersuhu rendah memiliki temperatur reservoir <125°C, sistem bersuhu sedang memiliki rentang temperatur reservoir 125-225°C, sedangkan sistem bersuhu tinggi memiliki suhu reservoir >225°C (Hochstein & Browne, 2000).

2.5 Manifestasi Panas bumi

Potensi panas bumi dapat diekspresikan oleh manifestasi di permukaan. Data manifestasi panas bumi dapat dipergunakan untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan, arah aliran fluida, zona permeabel serta karakteristik sistem panas bumi (Saptadji, 2001). Manifestasi panas bumi permukaan yang ada di daerah penelitian adalah mata air panas, fumarol dan mudpool. Manifestasi permukaan tersebar dalam 3 (tiga) kelompok yaitu Talaga Bodas, Karaha, dan Astana (Irada, 2017; Danakusumah, 2019).

3. METODE

Objek pada penelitian ini mencakup kelurusan geologi (punggungan dan lembah), tingkat aktivitas tektonik, permeabilitas batuan, dan manifestasi panas bumi di daerah penelitian. Metode penelitian ini menggunakan analisis pola kelurusan geologi dan perhitungan indeks geomorfik: rasio percabangan sungai (Rb), kerapatan pengaliran (Dd), sinusitas muka gunung (Smf), dan kerapatan kelurusan (Ld). Tahapan penelitian dibagi menjadi 4 (empat) yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data primer, tahap pengolahan dan analisis data, serta tahap penyusunan laporan penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Alur penelitian

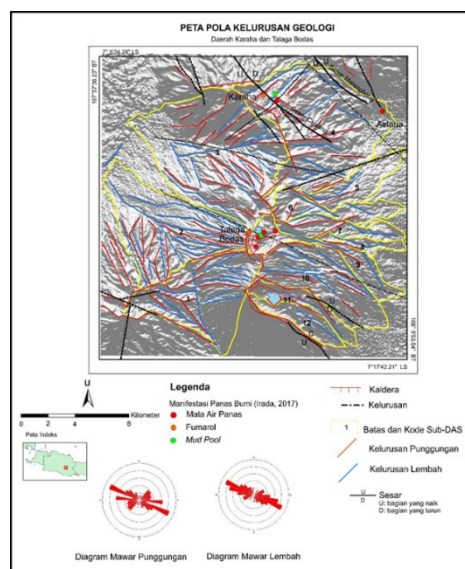
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pola Kelurusan Geologi

Indikasi struktur geologi dapat diamati melalui karakteristik pola kelurusan punggungan dan lembah (Gambar 3) yang

keduanya memiliki pola relatif berarah Barat Laut – Tenggara (NW-SE) yang relatif sama dengan pola struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian.

Pola struktur geologi ini diduga sebagai faktor penyebab terjadinya deformasi pada tubuh batuan dan terbentuk bidang lemah dan berkembang menjadi zona permeabel yang dapat meloloskan fluida panas bumi menuju permukaan sehingga muncul manifestasi panas bumi ke permukaan. Jejak aktivitas gunung api pada masa lampau di daerah penelitian terjadi pada batuan berumur Kuartar, terlihat pada struktur melingkar di daerah Talaga Bodas dan Galunggung berupa kaldera yang terbuka ke arah Timur dan Tenggara. Bentuk kaldera yang sudah tidak melingkar sempurna mencerminkan keberadaan pengaruh struktur geologi dan umur kawah yang sudah tua. berkembang di daerah penelitian.



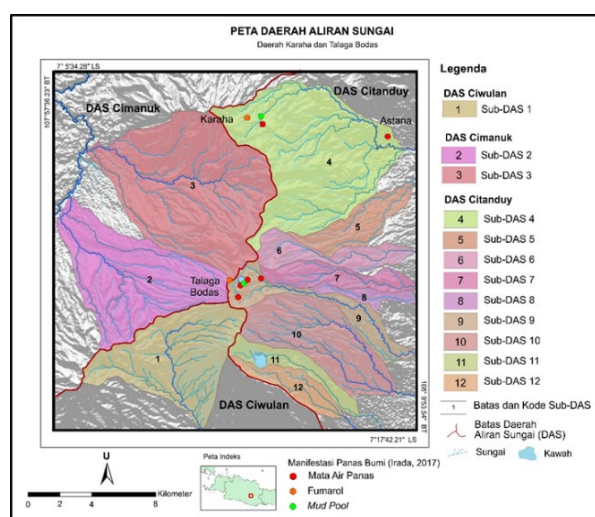
Gambar 3. Peta pola kelurusan geologi yang di olah dengan diagram mawar, memperlihatkan pola utama kelurusan lembah dan punggungan berarah Barat Laut -Tenggara (NW-SE) sebagai indikasi pola struktur geologi yang berasosiasi dengan penyebaran manifestasi panas bumi di daerah penelitian

4.2 Karakteristik Indeks Geomorfik

4.2.1 Karakteristik Morfometri

Daerah penelitian dilalui oleh 3 (tiga) DAS, yaitu DAS Cimanuk, Ciwulan, dan Citanduy

(Gambar 4) yang dibatasi oleh punggungan dan semuanya termasuk dalam batuan vulkanik berumur Kuarter. DAS Ciwulan mempunyai hilir sungai yang mengarah ke Selatan dari Pulau Jawa dan terdiri atas 1 (satu) sub-DAS, yaitu Sub-DAS 1. DAS Cimanuk mempunyai hilir sungai yang mengarah ke Utara dari Pulau Jawa dan terdiri atas 2 (dua) sub-DAS, yaitu Sub-DAS 2 dan 3. Adapun DAS Citanduy mempunyai hilir sungai yang mengarah ke Selatan dari Pulau Jawa dan terdiri atas 9 (sembilan) sub-DAS, yaitu Sub-DAS 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, dan 12.



Gambar 4. Peta Daerah Aliran Sungai (DAS), memperlihatkan 3 (tiga) DAS dengan sebaran sub-DAS di daerah penelitian

4.2.1.1 Rasio Percabangan (Rb)

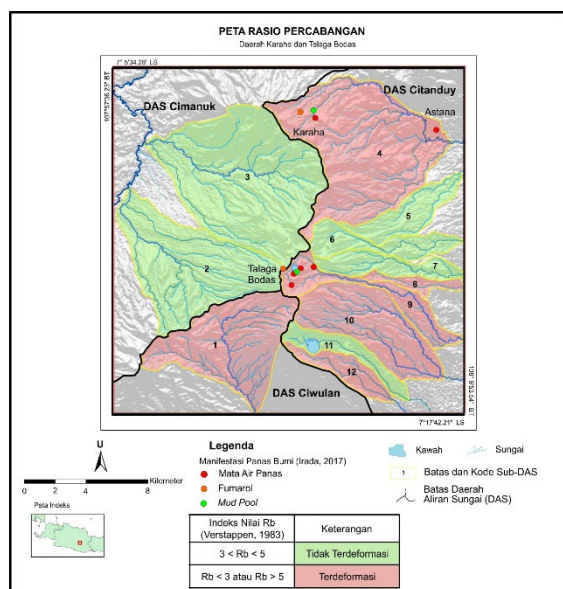
Hasil perhitungan Rb dilakukan di 3 (tiga) DAS yaitu: DAS Cimanuk memiliki 2 (dua) sub-DAS (sub-DAS 2 dan 3), DAS Citanduy, memiliki 9 (sembilan) sub-DAS (sub-DAS 4,5,6,7,8,9,10,11, dan 12), dan DAS Ciwulan memiliki 1 (satu) sub-DAS (sub-DAS 1) yang secara keseluruhan memperlihatkan nilai Rb yang bervariasi, yaitu berkisar ; 2,41-5,60. Hal tersebut menunjukkan di daerah penelitian mengalami deformasi (terdeformasi) dan tidak terdeformasi (Tabel 3).

Tabel 3. Perhitungan rasio percabangan sungai (Rb)

DAS	Sub-DAS	Jumlah Segmen Sungai Orde					Nilai Rb Sungai Orde				Rb Rata-rata	Klasifikasi Verstaappen (1983)
		1	2	3	4	5	1-2	2-3	3-4	4-5		
Ciwulan	1	137	36	9	1		3,80	4,00	9,00		5,60	Terdeformasi
	2	80	17	6	1		4,70	2,83	6,00		4,51	Tidak terdeformasi
Cimanuk	3	67	19	8	1		3,52	2,37	8,00		4,63	Tidak terdeformasi
	4	58	15	6	2	1	3,86	2,5	3,00	2,00	2,84	Terdeformasi
Citanduy	5	10	2	1			5,00	2,00			3,50	Tidak terdeformasi
	6	21	4	1			5,25	4,00			4,62	Tidak terdeformasi
	7	14	4	1			3,5	4,00			3,75	Tidak terdeformasi
	8	6	1				6,00				6,00	Terdeformasi
	9	26	8	3	1		3,25	2,67	3,00		2,97	Terdeformasi
	10	63	16	4	2	1	3,93	4,00	2,00	2,00	2,98	Terdeformasi
	11	16	5	1			3,20	5,00			4,10	Tidak terdeformasi
	12	13	4	2	1		3,25	2,00	2,00		2,41	Terdeformasi

Daerah yang terdeformasi memiliki nilai rentang Rb ; 2,14-6,00 di sub-DAS 1, 4,8,9,10, dan sub-DAS 12. Daerah yang tidak terdeformasi memiliki nilai rentang Rb ; 3,50-4,63 di sub-DAS 2,3,5,6,7,dan sub-DAS 11.

Manifestasi panas bumi di daerah penelitian (Gambar 5), menempati di bagian Tengah daerah penelitian pada sub-DAS 9 (nilai Rb ; 2,97) muncul pada daerah yang mengalami deformasi, berupa mata air panas, fumarol dan mudpool dan pada sub-DAS 7 (nilai Rb ; 3,75) yang tidak mengalami deformasi berupa mata air panas. Manifestasi panas bumi juga muncul di bagian Timur Laut daerah penelitian yaitu di sub-DAS 4 (nilai Rb ; 2,84) yang mengalami deformasi, berupa mata air panas, fumarol dan mudpool. Kemunculan manifestasi berhubungan dengan patahan yang berarah Timur Laut - Barat Daya dan Barat Laut - Tenggara di sub-DAS 4, dan patahan yang berarah Barat Laut - Tenggara di sub-DAS 7 dan 9 akibat pengaruh dari aktivitas tektonik.



Gambar 5. Peta rasio percabangan sungai (Rb) memperlihatkan kemunculan manifestasi panas bumi pada daerah yang terdeformasi dan tidak terdeformasi

4.2.1.2 Kerapatan Pengaliran (Dd)

Hasil perhitungan kerapatan pengaliran sungai (Dd) yang dilakukan di 3 (tiga) DAS yaitu: DAS Cimanuk memiliki 2 (dua) sub-DAS (sub-DAS 2 dan 3), DAS Citanduy, memiliki 9 (sembilan) sub-DAS (sub-DAS 4,5,6,7,8,9,10,11, dan 12), dan DAS Ciwulan memiliki 1 (satu) sub-DAS (sub-DAS 1). Secara keseluruhan daerah penelitian memperlihatkan nilai Dd yang bervariasi dari kasar hingga agak halus yaitu berkisar ; 2,17-4,48 km/km² (Tabel 4).

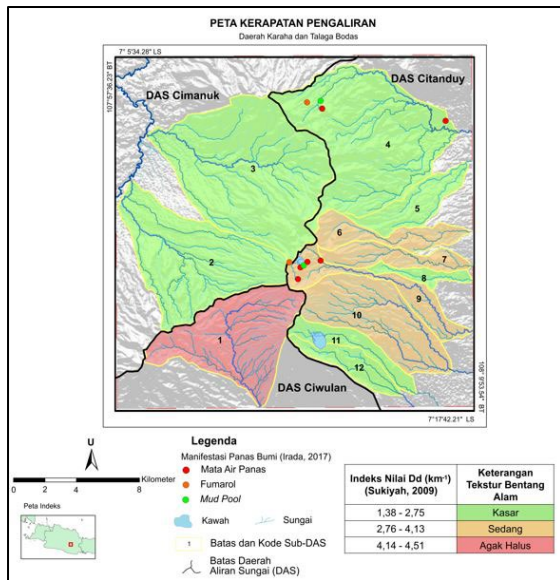
Daerah yang memiliki tekstur bentang alam agak halus memiliki nilai Dd ; 4,48 km/km² berada di DAS Ciwulan, sub-DAS 1, menempati bagian Barat Daya daerah penelitian. Daerah yang memiliki tekstur bentang alam sedang dengan rentang nilai Dd ; 2,86-3,82 km/km² berada di DAS Citanduy, sub-DAS 6,7,9, dan 10, menempati bagian Timur Laut dan Selatan daerah penelitian. Daerah yang memiliki tekstur bentang alam kasar memiliki rentang nilai Dd ; 2,17-2,69 km/km² berada di DAS Cimanuk (sub-DAS 2 dan 3) menempati bagian Barat dan Utara daerah penelitian.

Tabel 4. Perhitungan kerapatan pengaliran sungai (Dd)

DAS	Sub-DAS	Total Panjang Sungai (km)	Luas (km ²)	Kerapatan Pengaliran (km/km ²)	Tekstur Bentang Alam (Klasifikasi Sukiyah, 2009)
Ciwulan	1	180,13	40,18	4,48	Agak halus
	2	153,56	56,74	2,70	Kasar
Cimanuk	3	162,02	74,63	2,17	Kasar
	4	154,99	66,22	2,34	Kasar
Citanduy	5	31,69	12,78	2,47	Kasar
	6	36,28	12,67	2,86	Sedang
	7	33,90	11,40	2,97	Sedang
	8	11,17	4,46	2,50	Kasar
	9	47,18	15,10	3,12	Sedang
	10	122,19	31,92	3,82	Sedang
	11	23,08	9,59	2,40	Kasar
	12	20,43	9,01	2,26	Kasar

Kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan (Gambar 6) terdapat pada daerah yang memiliki tekstur bentang kasar di sub-DAS 4 (nilai Dd ; 2,34 km-1) berupa mata air panas, fumarol dan mudpool dan daerah yang memiliki tekstur bentang alam sedang di sub-DAS 7 (nilai Dd ; 2,97 km-1) berupa mata air panas dan sub-DAS 9 (nilai Dd ; 3,12 km-1) berupa mata air panas, fumarol dan mudpool.

Kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan diinterpretasikan berhubungan dengan struktur geologi (patahan) yang berarah Barat Laut - Tenggara merupakan daerah yang memiliki tekstur bentang alam sedang, dan berhubungan dengan struktur geologi (patahan) yang berarah Timur Laut - Barat Daya dan Barat Laut - Tenggara merupakan daerah yang memiliki tekstur bentang alam kasar. Kemunculan mata air panas di daerah ini mencerminkan batuan memiliki permeabilitas relatif tinggi. Dari citra DEM secara keseluruhan sub-DAS di daerah ini memiliki kemiringan lereng yang cukup landai (daerah graben) dibentuk oleh pegunungan yang berarah Utara - Selatan yang membatasi DAS Cimanuk dan DAS Citanduy.



Gambar 6. Peta rasio kerapatan pengaliran (Dd), memperlihatkan kemunculan panas bumi berada pada daerah yang memiliki tekstur bentang alam sedang dan kasar

4.2.2 Karakteristik Morfotektonik

4.2.2.1 Sinusitas Muka Gunung

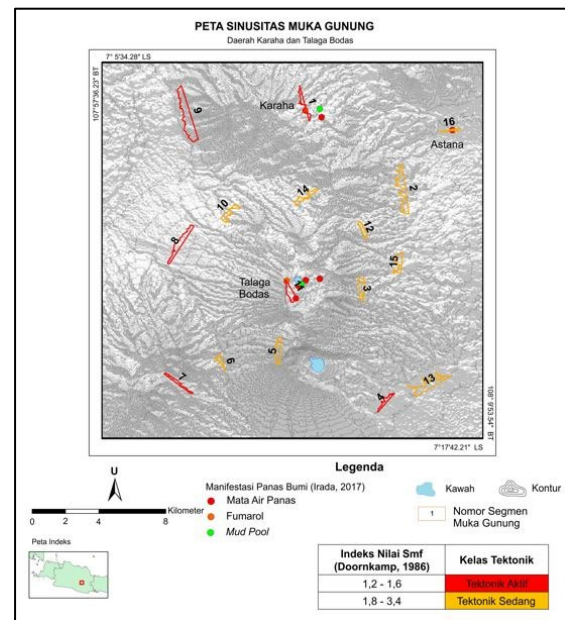
Berdasarkan hasil penghitungan sinusitas muka gunung terhadap 16 (enam belas) segmen muka gunung di daerah penelitian, memperlihatkan tingkat aktivitas tektonik aktif hingga sedang dengan rentang nilai Smf ; 1,36 – 2,75 (Tabel 5).

Tabel 5. Perhitungan sinusitas muka gunung (Smf)

Kode	L_{mf}	L_s	Smf	Kelas Tektonik (Doornkamp, 1986)
1	3,36	2,16	1,55	Tektonik Aktif
2	5,97	2,99	1,99	Tektonik Sedang
3	3,10	1,29	2,39	Tektonik Sedang
4	2,35	1,48	1,58	Tektonik Aktif
5	2,93	1,56	1,86	Tektonik Sedang
6	1,84	1,06	1,73	Tektonik Sedang
7	2,72	1,95	1,39	Tektonik Aktif
8	3,58	2,61	1,36	Tektonik Aktif
9	5,08	3,35	1,51	Tektonik Aktif
10	3,27	1,25	2,61	Tektonik Sedang
11	1,99	1,4	1,59	Tektonik Aktif
12	1,79	1,02	1,75	Tektonik Sedang
13	6,73	2,44	2,75	Tektonik Sedang
14	3,32	1,65	1,95	Tektonik Sedang
15	3,47	1,27	2,73	Tektonik Sedang
16	2,20	1,23	1,78	Tektonik Sedang

Pada 6 (enam) segmen muka gunung memiliki tingkat aktivitas tektonik aktif dengan rentang nilai Smf berkisar ; 1,36-1,59

menempati di bagian Utara, Tengah, Tenggara, Barat Daya, Barat dan Barat Laut daerah penelitian, dan 10 (sepuluh) segmen muka gunung memiliki aktivitas tektonik sedang dengan rentang nilai Smf ; 1,73-2,75 menempati di bagian Timur, Tenggara, Barat Daya dan Barat Laut daerah penelitian (Gambar 6).

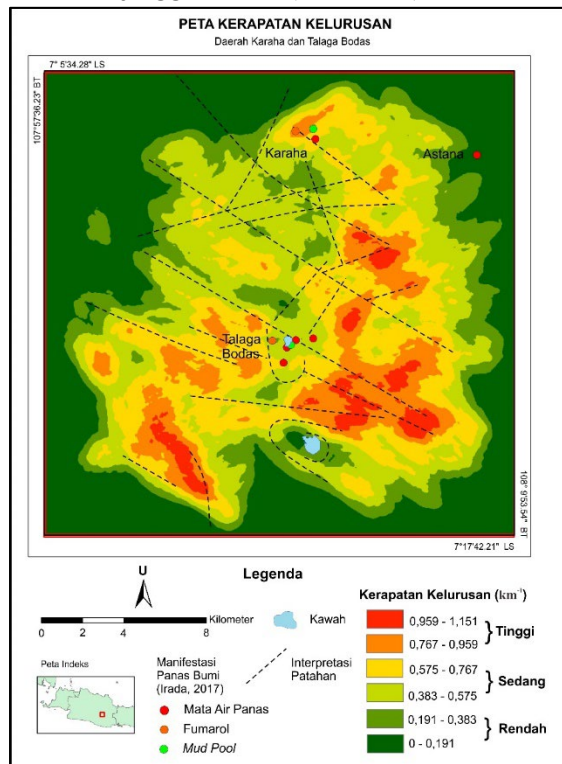


Gambar 6. Peta sinusitas muka gunung (Smf) memperlihatkan kemunculan manifestasi panas bumi permukaan umumnya berada pada daerah yang memiliki tingkat aktivitas tektonik aktif

Kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan pada bagian Utara daerah penelitian berada di daerah yang memiliki tingkat aktivitas tektonik aktif (segmen 1) berupa mata air panas, fumarol dan *mudpool*. Pada bagian Tengah daerah penelitian juga berada di daerah yang memiliki tingkat aktivitas tektonik aktif (segmen 14) berupa mata air panas, fumarol dan *mudpool*. Tingkat aktivitas tektonik sedang pada (segmen 16) berupa mata air panas. Pada daerah yang memiliki tingkat aktivitas tektonik aktif dan sedang, kemunculan manifestasi panas bumi berhubungan dengan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian yaitu: sesar Cijolang dan sesar Malangbong merupakan sesar mendatar (Irada, 2017).

4.2.2.2 Kerapatan Kelurusan (Ld)

Berdasarkan hasil perhitungan Ld di daerah penelitian memiliki nilai kerapatan kelurusan rendah sampai tinggi. Nilai kerapatan kelurusan nilai rendah yaitu ; 0-0,383 km-1 berwarna hijau tua-hijau. Nilai kerapatan kelurusan sedang yaitu ; 0,383-0,767 km-1 berwarna hijau muda-kuning. Nilai kerapatan kelurusan tinggi yaitu ; 0,767-1,151 km-1 berwarna jingga-merah (Gambar 7).



Gambar 7. Peta kerapatan kelurusan (Ld), memperlihatkan daerah memiliki densitas kelurusan tinggi (warna jingga-merah) yang diterpetasikan sebagai jalur patahan

Kemunculan manifestasi panas bumi terdapat pada kerapatan kelurusan dengan nilai rendah hingga tinggi yang tersebar di bagian Barat Daya, Tenggara dan Timur dari daerah penelitian. Daerah yang memiliki nilai kerapatan kelurusan tinggi mencerminkan zona lemah dengan tingkat permeabilitas yang tinggi.

4.3 Gabungan Karakteristik Indeks Geomorfik

Kemunculan manifestasi panas bumi di daerah penelitian dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok di bagian Utara, Timur Laut, dan Tengah daerah penelitian (Tabel 6). Kemunculan manifestasi tersebut dikontrol oleh struktur geologi yang berada di daerah penelitian diantaranya sesar Malambong dan sesar Cijolang yang memiliki arah Barat Laut-Tenggara.

Tabel 6. Karakteristik indeks geomorfik dan pola kelurusan terhadap kemunculan manifestasi panas bumi pada daerah penelitian

Lokasi	DAS	Sub-DAS	Pola Utama Kelurusan Geologi	Nilai Indeks Geomorfik			
				Rb	Dd (km ⁻¹)	Smf	Ld (km ⁻¹)
Utara (Karaha)	Citanduy	4	NW-SE	2,84 (terdeformasi)	2,34 (tekstur kasar)	1,55 (aktif)	0,575-0,959 (sedang-tinggi)
Timur Laut (Astana)	Citanduy	4	NW-SE	2,84 (terdeformasi)	2,34 (tekstur kasar)	1,78 (sedang)	0-0,191 (rendah)
Tengah (Talaga Bodas)	Citanduy	7,9	NW-SE	2,90-3,75 (terdeformasi-tidak terdeformasi)	2,97-3,12 (tekstur sedang)	1,59 (aktif)	0,383-0,575 (sedang)

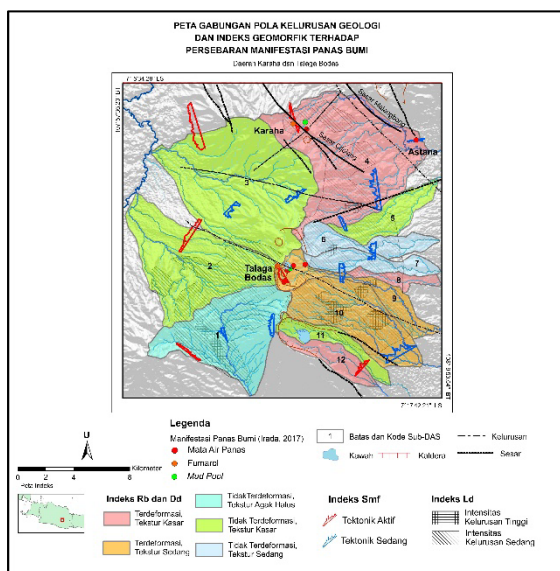
Hasil perhitungan Rb pada daerah kemunculan manifestasi panas bumi yaitu di sub-DAS 4 (nilai Rb ; 2,84), sub-DAS 9 (nilai Rb ; 2,97), dan satu sub-DAS 7 yang tidak terdeformasi (nilai Rb ; 3,75). Nilai tersebut dapat diartikan manifestasi muncul pada daerah yang terdeformasi dan pada Sub-DAS 7 manifestasi tersebut muncul pada sub-DAS yang tidak terdeformasi oleh tektonik. Nilai Rb yang didapat merupakan nilai anomali karena sub-DAS terdapat di daerah depresi membentuk dataran dengan batuan penyusun breksi gunung api tua produk gunung Cakrabuana dan gunung Kukus (QTV(b,k)).

Hasil perhitungan Dd pada daerah kemunculan manifestasi panas bumi yaitu berada di sub-DAS 4 memiliki nilai Dd ; 2,34 km/km² (tekstur bentang alam kasar). Sedangkan pada sub-DAS 7 memiliki nilai Dd ; 2,97 km-1 dan Sub-DAS 9 memiliki nilai Dd ; 3,13 km-1 termasuk ke dalam bentang alam tekstur sedang. Berdasarkan analisis kerapatan pola aliran memperlihatkan bahwa manifestasi panas bumi muncul pada bentang alam tekstur kasar hingga sedang dan mengindikasikan

permeabilitas batuan di bawah permukaan yang relatif tinggi hingga sedang.

Hasil perhitungan Smf pada daerah kemunculan manifestasi panas bumi berada pada sub-DAS 4 memiliki nilai Smf berkisar ; 1,55-1,78 dan sub-DAS 7 dan 9 memiliki nilai Smf ; 1,59. Nilai tersebut termasuk dalam kelas tektonik aktif dan sedang. Nilai Smf dipengaruhi oleh adanya struktur geologi di lokasi manifestasi panas bumi sehingga batuan dapat meloloskan fluida panas bumi menuju permukaan.

Hasil perhitungan Ld pada daerah kemunculan manifestasi panas bumi berada pada sub-DAS 4 memiliki nilai Ld ; 0,191-0,959 km-1 termasuk dalam kelas kerapatan kelurusan rendah hingga tinggi dan pada sub-DAS 7 dan 9 memiliki nilai Ld ; 0,383-0,575 km-1 termasuk dalam kelas kerapatan kelurusan sedang. Karakteristik indeks geomorfik dan pola kelurusan geologi terhadap kemunculan manifestasi panas bumi diperlihatkan dalam peta gabungan (Gambar 8).



Gambar 4.7 Peta gabungan pola kelurusan geologi dengan indeks geomorfik pada daerah penelitian

5. KESIMPULAN

Pola utama kelurusan geologi yang berasosiasi dengan struktur geologi di daerah penelitian berdasarkan hasil analisis kelurusan

(punggungan dan lembah) memiliki arah Barat Laut - Tenggara (NW-SE). Karakteristik indeks geomorfik berdasarkan aspek morfometri memperlihatkan bahwa daerah penelitian mengalami deformasi (terdeformasi) dan tidak terdeformasi (nilai Rb ; 2,41-5,60), memiliki tekstur bentang alam kasar (nilai Dd ; 2,17-2,69 km-1), sedang (nilai Dd ; 2,96-3,82 km-1), dan agak halus (nilai Dd ; 4,48 km-1). Aspek morfotektonik memperlihatkan bahwa daerah penelitian memiliki kelas tektonik aktif (nilai Smf ; 1,36-1,58) hingga sedang (nilai Smf ; 1,75-2,75), kerapatan kelurusan rendah (nilai Ld ; 0,000-0,383 km-1), sedang (nilai Ld ; 0,383-0,767 km-1), dan tinggi (nilai Ld ; 0,767-1,151 km-1).

Manifestasi permukaan panas bumi ditemukan tersebar di daerah yang dilalui oleh sesar-sesar yang berarah Barat Laut - Tenggara (NW-SE) dan Timur laut - Barat Daya (NE-SW) yang dikelompokkan menjadi 3 (tiga) lokasi, yaitu: manifestasi panas bumi Karaha di bagian Utara berupa mata air panas, fumarol dan mudpool, manifestasi panas bumi Astana di bagian Timur Laut berupa mata air panas, dan manifestasi panas bumi Talaga Bodas di bagian Tengah berupa mata air panas, fumarol dan mudpool. Hasil analisis pola kelurusan dan perhitungan indeks geomorfik memperlihatkan kemunculan manifestasi panas bumi berada di daerah yang memiliki pola utama kelurusan geologi berarah Barat Laut - Tenggara (NW – SE), pada daerah terdeformasi dan tidak terdeformasi (nilai Rb: 2,84-2,90), tekstur bentang alam sedang hingga kasar (nilai Dd: 2,34-3,12 km-1), tingkat tektonik sedang sampai aktif (nilai Smf: 1,55-1,78) dan kerapatan kelurusan rendah hingga tinggi (nilai Ld: 0,191-0,959 km-1).

DAFTAR PUSTAKA

Allis, R., Moore, J., McCulloch, J., Petty, S., and DeRocher, T., 2000. *Karaha-Telaga-Bodas, Indonesia: A Partially Vapor-Dominated Geothermal System*.

- Transactions-Geothermal Resources Council, 217-222.
- Alzwar, M., Akbar, N., Bachri, C., 1992. Peta Geologi Regional Garut - Pameungpeuk, Jawa Barat Pusat, Skala 1:250.000, Pusat dan Pengembangan Geologi, Bandung. Lembar, 1208-6.
- Budhitrisna, T., 1986. Geologi Lembar Tasikmalaya, Jawa Barat. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia.
- Danakusumah, Grandy Bilhan., 2019. Penentuan Batas Sistem Panas bumi Berdasarkan Studi Geologi dan Geokimia Air di daerah Karaha-Bodas, Jawa Barat Serta Implikasinya terhadap Model Konseptual. Tesis Program Studi Teknik Panas bumi Institut Teknologi Bandung
- Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE). 2020. Rencana Strategis 2020-2024. Jakarta: Ditjen EBTKE, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Doornkamp, J.C., 1986. Geomorphological Approaches to The Study of Neotectonics. *Journal of Geological Society*, Vol.143:355-342.
- Gentana, D., 2018. Indeks Geomorfik Sebagai Karakterisasi Neotektonik Untuk Penentuan Prospek Panas Bumi di Gunung Rendingan dan Sekitarnya, Lampung. Disertasi. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran (Unpublished).
- Hermawan, D. and Y. Rezky., 2011. Delineasi daerah prospek panas bumi berdasarkan analisis kelurusan citra landsat di Candi Umbul-Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 6(1), pp. 1-10.
- Hochstein, M.P and Browne P.R.L., 2000. *Surface Manifestation of Geothermal System With Volcanic Heat Sources*, In *Encyclopedia of Volcanoes*, Edited by H.Sigurdson, pp.835-865.Academic Press, San Diego.
- Hung, L.Q., O. Batelaan, and F. De Smedt., 2005. *Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam*. *Proceeding of SPIE*, 5983, pp. 59830T-1 - 59830T-12
- Irada, A., 2017. Interaksi Fluida dan Batuan Berdasarkan Mineral Ubahan di Sumur KRH 5-2 Lapangan Panas bumi Karaha Bodas Provinsi Jawa Barat. Tesis Program Studi Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung
- Keller, E.A. and N. Pinter., 2002, *Active Tectonic: Earthquake, Uplifts and Landscape (second edition)*. Upper Saddle River : Prentise Hall.
- O'Leary, D. W., 1976. *Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for oLd terms*. The Geological Society of America.
- Prabata, W., and Pratama, H. B., 2019. The development study of Karaha-Talaga Bodas geothermal field using numerical simulation. *Geothermal Energy*, 7(1), 1-24.
- Saptadji, N.M., 2001. Teknik Panas bumi. Bandung : ITB Press.
- Soengkono, S., 1999. *Assessment of Faults and Fracture at The Mokai Geothermal FieLd, Taupo Volcanic Zone, New Zealand*. *Proceedings WorLd Geothermal Congress 2000*. Kyushu-Tohoku, Japan. pp 1771-1776.
- Sukiyah, E., 2017. Sistem Informasi Geografis: Konsep dan Aplikasinya dalam Analisis Geomorfologi Kuantitatif. Bandung : Unpad Press.
- Sukiyah, E., A. Sudradjat; and N. Sulaksana., 2012. Analisis morfometri terhadap kegiatan neotektonika di Dataran Tinggi

- Bandung, Jawa Barat. Majalah Geologi Indonesia, 27(3), pp. 193-200.
- Sukiyah, Emi., 2009. Model Erosi Bentang Alam Vulkanik Kuarter di Cekungan Bandung Bagian Selatan. Disertasi, Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Sumintadireja, P., and Prihadi., 2005. Vulkanologi dan geothermal. Diktat kuliah vulkanologi dan geothermal, Penerbit ITB, 153 hal.