Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik Vol. 14, No. 1, Maret 2012: 1 - 11
ISSN 1411 - 0903

PERAN MORFOTEKTONIK DAS DALAM PENGEMBANGAN POTENSI ENERGI MIKRO HIDRO DI CIANJUR-GARUT BAGIAN SELATAN

Sukiyah, E., Sulaksana, N., Hendarmawan., dan Rosana, M.F

Fakultas Teknik Geologi Unpad, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor,
E-mail: emi_s@unpad.ac.id

ABSTRAK

Geomorfologi kawasan Cianjur-Garut bagian selatan berupa pegunungan dengan kemiringan lereng landai hingga terjal. Sebagian wilayah memiliki anak-anak sungai berlembah sempit dan berjeram sehingga potensi sumberdaya air di kawasan ini termasuk berlimpah. Potensi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi mikro hidro. Permasalahan yang diteliti adalah sejauh mana peran karakteristik geomorfologi akibat proses tektonik dalam pengembangan potensi energi mikro hidro. Sistematika penelitian didasarkan atas pola pikir bahwa peristiwa geologi masa lampau menghasilkan karakteristik geomorfologi tertentu. Bentuk geomorfologi dikontrol oleh tektonik, seperti diperlihatkan oleh karakteristik geomorfologi di Cianjur-Garut bagian selatan. Beragam parameter morfotektonik DAS dapat menjadi indikator untuk mendeteksi potensi energi mikro hidro. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dikontrol oleh tektonik memiliki bentuk ramping. Jaringan pengaliran berpola menangga, dengan orde sungai 1 dan 2. Kondisi ini memungkinkan debit air permukaan relatif besar dengan elevasi jatuhan yang tinggi. Pendekatan probabilistik digunakan dalam analisis data. Hasil analisis data karakteristik geomorfologi antara DAS Cipandak dan Cikaingan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Fenomena tersebut mengakibatkan perbedaan potensi energi mikro hidro di kedua DAS.

Kata kunci: morfotektonik, DAS, mikro hidro

THE DRAINAGE BASIN MORPHOTECTONIC ROLE IN THE DEVELOPMENT OF POTENCY FOR MICRO HYDRO ELECTRIC POWER IN SOUTHERN GARUT-CIANJUR

ABSTRACT

The geomorphology in southern part of Cianjur-Garut areas is mountainous with gentle to steep slopes. A part of landforms with many tributary rivers has narrow valley and rapids. The potency of water resources in these areas is abundance. It is a great advantage as a source of micro hydro electric power. The problem of this research is how far is the role of geomorphologic characters as tectonic product toward the development of potency for micro hydro electric power. This Research was designed based on the paradigm that the past geological event will develop a certain typical landform in present. In the study area, it was shown that the geomorphologic units were controlled by tectonic activities. Various parameters of drainage basin morphotectonic could become indicator for micro hydro power potency. The drainage basin controlled by tectonic has usually a narrow shape. The major river and its tributaries showed trellis pattern, which consisted of the 1st and 2nd order of the rivers. They generated high discharge and head. Probabilistic approach was used in data analysis, and showed that geomorphologic character between Cipandak and Cikaingan drainage basins had significant difference statistically. This difference means that the potency for micro hydro electric power was different for both of those drainage basins.

Key words: morphotectonic, drainage basin, micro hydro

PENDAHULUAN

Pemanasan global dan keterbatasan sumberdaya energi fosil, menjadi penyebab dikembangkannya sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Energi yang bersumber dari air merupakan salah satu solusi masalah krisis energi. Mikro hidro merupakan salah satu instalasi yang dapat membangkitkan energi

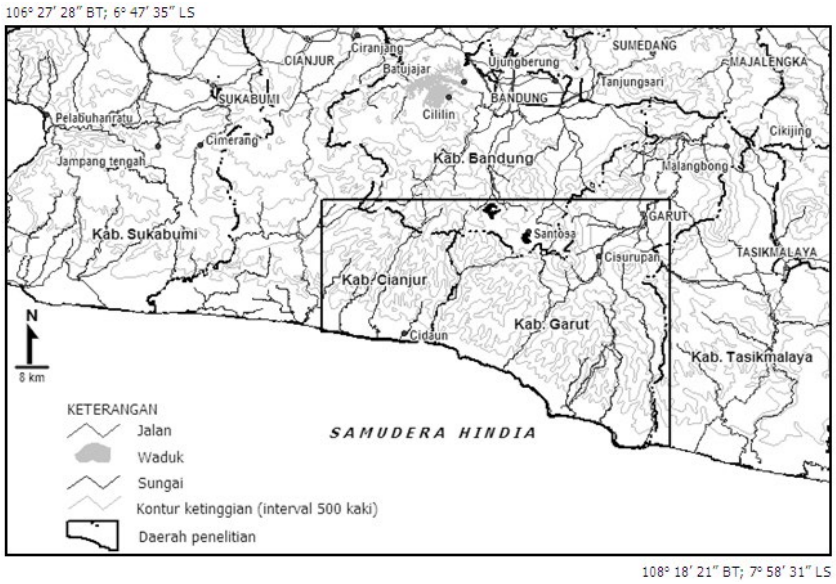
listrik dalam skala rumah tangga atau industri kecil. Peralatan yang relatif sederhana, murah, dan mudah pemeliharaannya menjadi alasan penggunaan pembangkit tersebut di daerah-daerah terpencil.

Keberadaan sumber energi mikro hidro dikontrol oleh bentang alam tertentu. Karakteristik geomorfologi ini akan menentukan kuantitas energi listrik yang dapat dieksploitasi. Geomorfologi dengan kemiringan lereng curam hingga terjal merupakan tempat yang ideal bagi ketersediaan energi ini. Karakteristik geomorfologi yang demikian biasanya dikontrol oleh tektonik. Oleh karena itu, pendekatan analisis morfotektonik sangat diperlukan untuk mendukung kegiatan eksplorasi dan pemanfaatan sumber energi mikro hidro.

Permasalahan yang diteliti adalah sejauh mana peran karakteristik geomorfologi akibat proses tektonik terhadap ketersediaan potensi energi mikro hidro. Hasil penelitian diharapkan dapat berguna untuk membantu masyarakat dan pemerintah daerah setempat sebagai solusi penanganan krisis energi. Metode yang dikembangkan juga dapat menjadi bahan pembelajaran bagi mahasiswa pada Program Studi Teknik Geologi.

Kajian tektonik dapat dilakukan dengan memahami karakteristik morfometri DAS. (Strahler, 1964; dalam Mulyo, 2003 & Verstappen, 1983) menyatakan bahwa suatu DAS yang memiliki rasio cabang sungai (R_b) kurang dari 3 atau lebih dari 5 diindikasikan telah mengalami deformasi akibat tektonik. Hirnawan dan Muslim (2006) menyatakan bahwa morfometri pengaliran dapat mencerminkan tektonisme aktif. Densitas pengaliran (D_d) yang merupakan refleksi dari keragaman sifat fisik litologi juga dapat digunakan untuk mengkaji aktivitas tektonik pada suatu kawasan (Sukiyah & Mulyono, 2007). Kawasan yang mengalami deformasi akibat tektonik dapat dicerminkan oleh sifat fisik litologi yang rentan terhadap erosi, sehingga akan menghasilkan densitas pengaliran yang relatif lebih tinggi dibandingkan kawasan yang relatif stabil. Pada skala lokal dan regional fenomena tektonik dapat dikenali melalui bentang alam yang khas, seperti gawir, bentuk lembah, kelurusan perbukitan, kelurusan sungai, pola pengaliran, dll.

Penelitian dilakukan di wilayah Cianjur-Garut bagian selatan (Gambar 1). Berdasarkan hasil penelitian Sudradjat dkk. (2009), wilayah ini memiliki potensi energi mikro hidro yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya di Jawa Barat bagian selatan. Hasil studi literatur dari berbagai sumber, wilayah ini juga rawan akan bahaya alam, terutama tanah longsor (*landslide*). Oleh karena itu, penelitian yang lebih detil di wilayah tersebut perlu dilakukan.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian di wilayah Cianjur dan Garut bagian selatan.

Sejarah geologi Jawa bagian barat (termasuk bagian selatan) sejak akhir Mesozoikum hingga akhir Tersier merupakan akumulasi dari beberapa sistem deformasi. Struktur geologi dikelompokkan dalam 4 pola, yaitu Struktur Meratus (Barat Daya-Timur Laut), Struktur Sunda (Utara-Selatan), Struktur Sumatera (Barat Laut-Tenggara), dan Struktur Jawa (Barat-Timur) (Pulunggono & Martodjojo, 1994). Geologi wilayah ini telah dipetakan dalam lembar Garut-Pameungpeuk (Alzwar, dkk. 1992) dan lembar Sindangbarang-Bandarwaru (Koesmono, dkk. 1996).

Sudradjat, dkk. (2009) telah melakukan penelitian tentang potensi energi alternatif di Jawa Barat bagian selatan dalam kaitannya dengan sumberdaya geologi. Wilayah ini juga rawan akan bahaya gempa bumi akibat berada di sekitar zona subduksi yang membentang dari barat hingga ke timur di bagian selatan P. Jawa (Situmorang *et al*., 1976). Kejadian gempa bumi dapat memicu kondisi lahan menjadi labil yang dapat mengakibatkan ancaman bencana longsor. Di sisi lain, kawasan ini memiliki sumberdaya alam yang dapat dikembangkan untuk mendukung laju pembangunan (Sudradjat, 1992).

BAHAN DAN METODE

Kerangka pemikiran yang menjadi landasan penelitian ini adalah bahwa proses tektonik dapat mengakibatkan potensi sekaligus kendala. Proses tektonik dapat menghasilkan karakteristik geomorfologi tertentu. Pemanfaatan lahan yang terkontrol dan iklim yang menunjang dapat mempengaruhi intensitas debit aliran permukaan. Pada intensitas debit aliran permukaan dan morfometri tertentu, aliran air dapat menjadi sumber pembangkit tenaga listrik. Di sisi lain, proses tektonik dapat menjadi ancaman sehingga timbul kawasan rawan bahaya alam. Sebagian besar kawasan tersebut biasanya merupakan daerah terisolir yang sulit dijangkau oleh program-program pembangunan. Makalah ini lebih menekankan pada aspek potensi dibandingkan aspek kendala akibat adanya proses tektonik.

Penelitian melibatkan beragam variabel numerik dan spasial. Beberapa variabel morfotektonik dapat diukur pada media peta rupa bumi dan citra satelit. Variabel ini diantaranya kemiringan lereng dan elevasi, dimensi DAS, panjang segmen sungai (L_s), azimut segmen-segmen sungai, azimut kelurusan morfologi, kerapatan pengaliran (D_d), orde sungai, dan rasio cabang sungai (R_b). Beberapa variabel morfometri yang terkait dengan spasial dianalisis menggunakan metode grid sederhana (Sukiyah. dkk. 2007).

Kerapatan pengaliran (D_d) diperoleh melalui perhitungan menggunakan formula 1 (van Zuidam, 1983).

$$D_d = \Sigma L_s / A \quad \text{..... (1)}$$

dengan ΣL_s = jumlah panjang sungai (km) dan A = luas DAS (km^2). Rasio cabang sungai (R_b) suatu DAS merupakan perbandingan jumlah sungai berorde n dibagi dengan jumlah sungai berorde n+1.

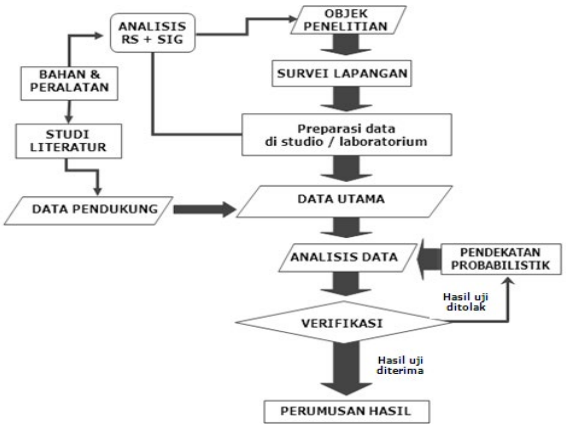
Perhitungan daya listrik pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dibagi dalam beberapa tahap (Departemen SDE & Mineral, 2007), yaitu daya poros turbin (2), daya yang ditransmisikan ke generator (3), dan daya yang dibangkitkan generator (4). Variabel Q (debit aliran) dan H (ketinggian efektif) diukur di lokasi penelitian.

$$P_t = 9{,}81 \times Q \times H \times n_t \quad \text{..... (2)}$$

$$P_{trans} = 9{,}81 \times Q \times H \times n_t \times n_{belt} \quad \text{..... (3)}$$

$$P = 9{,}81 \times Q \times H \times n_t \times n_{belt} \times n_{gen} \quad \text{... (4)}$$

dengan P_t (daya poros turbin); P_{trans} (daya yang ditransmisikan ke generator); P (daya yang dibangkitkan generator); Q (debit aliran dalam m^3/detik) ; H (ketinggian efektif



Gambar 2. Skema kerangka desain penelitian

dalam m) ; n_t (efisiensi turbin; 0,74 untuk turbin *crossflow* T-14; 0,75 untuk turbin *propeller open flume* lokal); n_{belt} (0,98 untuk *flat belt* dan 0,95 untuk *V belt*) ; dan n_{gen} (efisiensi generator). Daya yang dibangkitkan generator (P) inilah yang akan disalurkan ke pengguna. Jumlah kebutuhan daya di pusat beban harus di bawah kapasitas daya terbangkit, sehingga tegangan listrik stabil dan sistem lebih handal (berumur panjang).

Pemecahan masalah dalam penelitian ini menggunakan pendekatan probabilistik (Gambar 2). Pendekatan probabilistik memanfaatkan statistik sebagai alat uji. Metode ini digunakan agar hasil penelitian signifikan pada taraf nyata (α) tertentu. Beragam uji statistik yang digunakan adalah uji normalitas distribusi data, uji homogenitas data, uji beda rata-rata, dan uji regresi-korelasi (Sudjana, 1989; Sugiyono, 1999).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan data curah hujan rata-rata tahunan di beberapa stasiun pengamatan milik BMKG pada 5 tahun terakhir (2005-2009), menunjukkan bahwa intensitas curah hujan berkisar dari 1.231,8 s/d 4.027 mm/th (Tabel 1). Daerah di sekitar perbatasan Garut-Cianjur memiliki intensitas curah hujan yang relatif normal, rata-rata 2.865,57 mm/th dengan standar deviasi 739,13. Hasil uji normalitas *Lilliefors* menunjukkan distribusi data normal, dalam hal ini L_{hit} = 0,1209 yang lebih kecil dari L_{tab}= 0,206 pada n=11 dan α=0,20. Kondisi ini sangat mempengaruhi kestabilan pasokan air tanah yang muncul sebagai mataair di lereng-lereng berkemiringan terjal. Areal hutan yang masih terjaga, khususnya di pegunungan (perbatasan Cianjur-Garut), turut mendukung stabilitas pasokan air ke sungai-sungai yang berhulu di kawasan tersebut.

Tatanan litologi wilayah Cianjur-Garut bagian selatan juga sangat mendukung ketersediaan air yang hampir stabil sepanjang tahun. Sebagian besar wilayah ini tersusun oleh breksi vulkanik. Sifat breksi vulkanik berumur Kuarter cenderung permeabel dan berongga relatif besar, sehingga mampu melalukan infiltrasi air dan menyimpannya untuk jangka waktu tertentu.

Karakteristik Morfotektonik DAS

Daerah penelitian terbagi menjadi 10 DAS utama, yang berjajar dari barat hingga timur di wilayah Cianjur-Garut bagian selatan (Tabel 2). Penamaan DAS diambil dari nama sungai utama yang terdapat dalam setiap DAS. Distribusi spasial kesepuluh DAS utama ditampilkan dalam Gambar 6. Sungai utama dalam setiap DAS mengalir ke arah selatan dan bermuara di wilayah pesisir. Setiap DAS memiliki karakteristik morfotektonik yang berbeda. Kondisi ini dipengaruhi oleh litologi, struktur geologi dan tektonik, serta iklim. DAS terluas di wilayah ini adalah DAS Cikandang yang terletak di Kabupaten Garut, memiliki luas mencapai 464 km^2. DAS terluas ke-2 adalah DAS Cilaki di perbatasan Garut-Cianjur.

Tabel 1. Hasil perhitungan data curah hujan rata-rata tahunan (2005 s/d 2009)

No.	Stasiun Pengamatan Curah Hujan	Curah hujan rata-rata (mm/th)
1	Bungbulang (Garut)	3.368,4
2	Singajaya (Garut)	2.716,2
3	Perkebunan Pamegatan (Garut)	2.082,1
4	Perkebunan Gunung Campaka (94A), Cianjur	2.837,4
5	Kecamatan Campaka (95A), Cianjur	2.662,8
6	Pagelaran (109A), Cianjur	2.866,6
7	Rumah dinas Camat Cianjur (112A)	4.027,0
8	Cigebang (113A), Cianjur	3.193,2
9	Agrabinta (114A), Cianjur	1.231,8
10	Sindangbarang (117), Cianjur	3.064,2
11	Bojongpicung, Cianjur	3.471,6

Bentuk DAS pada umumnya mirip bulu burung yang agak melebar di bagian hulu atau tengah. Sebagian DAS berbentuk mirip kipas yang melebar di bagian hilir. DAS yang berbentuk relatif kompleks adalah DAS Cilaki dan DAS Cikandang, berdasarkan klasifikasi DAS menurut Sosrodarsono dan

Takeda (1976). Dalam kaitannya dengan debit air permukaan, maka bentuk DAS mirip bulu burung memiliki debit yang relatif lebih stabil dibandingkan bentuk DAS lainnya. Fenomena ini didukung oleh hasil observasi lapangan di S.Cipandak yang memiliki bentuk DAS relatif memanjang. Sungai tersebut memiliki debit yang relatif tinggi hingga ke bagian hulu. Kondisi ini mempengaruhi ketersediaan potensi energi mikro hidro. Bentuk DAS relatif memanjang juga akan menguntungkan untuk pengusahaan energi mikro hidro karena sungai-sungainya memiliki gradien yang relatif tinggi. Debit aliran air dan gradien dasar sungai yang tinggi dapat meningkatkan kapasitas energi listrik.

Tabel 2. DAS utama di wilayah Kabupaten Cianjur dan Garut bagian selatan

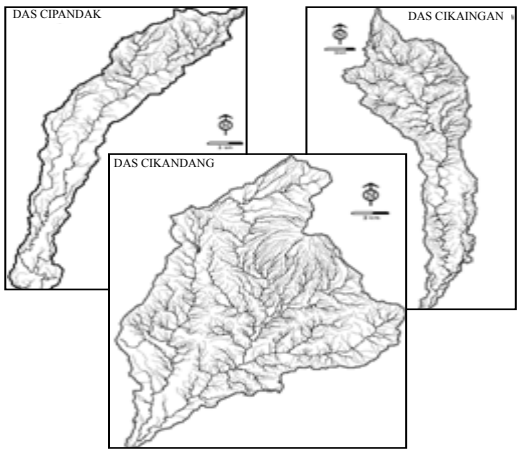
No	Nama DAS	Luas (km^2)
1	Cibuntu (Cianjur)	164,90
2	Cipandak (Cianjur)	188,90
3	Cidamar (Cianjur)	267,90
4	Cilaki (Cianjur-Garut)	411,20
5	Cilayu (Garut)	126,30
6	Cikandang (Garut)	464,00
7	Cikaso (Garut)	165,60
8	Cisangiri (Garut)	190,80
9	Cibabalukan (Garut)	84,84
10	Cikaingan (Garut)	273,00

Bentuk DAS Cipandak menyerupai bulu burung, memanjang dari utara ke selatan (Gambar 3). DAS ini berimpit dengan sesar mendatar Cipandak. Karakteristik bentuk DAS dan pola pengaliran mencerminkan adanya kontrol struktur geologi. Fenomena ini juga didukung oleh analisis kuantitatif terhadap parameter morfotektonik DAS (Tabel 3, Gambar 4). Sungai Cipandak beserta anak-anak sungainya membentuk pola pengaliran menangga. Secara keseluruhan sungai-sungai berorde 1 hingga 5, namun sungai berorde 1 dan 2 lebih dominan. R_b 4-5 sangat kecil sekitar 0,63 yang mencerminkan bahwa sungai utama mengalami kontrol tektonik cukup signifikan (Sukiyah dkk., 2010).

Tabel 3. Karakteristik morfotektonik DAS Cipandak

Orde	Jumlah segmen	Total Panjang (km)	R_b	Luas DAS (km^2)	D_d
1	284	233,50	2,58	188,9	1,24
2	110	75,85	1,22	188,9	0,40
3	90	46,59	2,81	188,9	0,25
4	32	14,05	0,63	188,9	0,07
5	51	41,82		188,9	0,22
Jumlah:		411,81		188,9	2,18

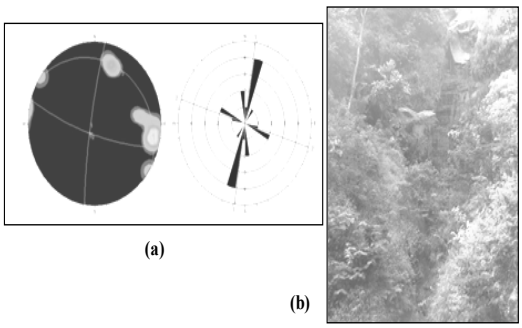
Sesar mendatar Cipandak terdapat di bagian tengah DAS, berimpit dengan sungai utama dan berarah barat daya-timur laut (Sukiyah, dkk. 2010). Indikasi keberadaan sesar ini adalah kelurusan geomorfologi, struktur kekar, pola pengaliran menangga, dan kelurusan segmen sungai Cipandak. Tiga parameter karakteristik morfotektonik DAS digunakan untuk mengetahui sejauh mana tektonik mengontrol DAS Cipandak, yaitu kerapatan pengaliran (D_d), rasio cabang sungai (R_b), dan azimut kelurusan segmen sungai. Hasil analisis terhadap populasi data D_d, R_b, dan kelurusan segmen sungai, menunjukkan adanya pergerakan pada kedua blok sesar. Kedua blok sama-sama mengalami deformasi yang didukung pula oleh hasil analisis kekar (Gambar 4).



Gambar 3. Perbandingan bentuk DAS dan pola pengaliran

Bentuk DAS Cikandang mirip kipas, menunjukkan bahwa DAS ini tersusun oleh pola pengaliran yang beragam, yaitu menangga, paralel, dendritik, dan anular.

Sungai-sungai di DAS Cikandang berorde 1 s/d 6 (Tabel 4). DAS Cikandang dikontrol oleh sesar mendatar dekstral yang membelah tepat di bagian tengah berarah barat daya-timur laut. Sebagian segmen Sungai Cikandang melalui zona sesar ini. Analisis dilakukan terhadap populasi data kerapatan pengaliran dan rasio cabang sungai sub-sub DAS yang berada pada kedua blok sesar. Hasil analisis menunjukkan bahwa tektonik menyebabkan deformasi di DAS ini.



Gambar 4. *Stereonet -rosette diagram* data kekar (a), dengan koordinat 7° 22' 3,4" LS dan 107° 19' 44,1" BT dan gawir sesar (b) di DAS Cipandak.

Tabel 4. Karakteristik morfotektonik DAS Cikandang

Orde	Jumlah segmen	Total Panjang (km)	R_b	Luas DAS (km^2)	D_d
1	977	794,40	2,11	464	1,71
2	462	256,30	1,92	464	0,55
3	241	120,40	1,21	464	0,26
4	200	76,72	6,25	464	0,17
5	32	22,61	0,82	464	0,05
6	39	20,60		464	0,04
Jumlah:		1.291,03		464	2,78

Bentuk DAS Cikaingan sangat unik, mirip bulu burung dengan batas yang tegas. Bentuk memanjang berarah utara-selatan, tampak ramping di bagian tengah dan hilir. Pola pengaliran beragam, yaitu dendritik di bagian hulu dan *trellis* di bagian tengah. Kerapatan pengaliran di bagian hulu (utara) relatif lebih rapat dibandingkan bagian hilir (selatan). Perbedaan karakter pola pengaliran yang ekstrim di bagian hulu dan hilir DAS sebenarnya telah menunjukkan adanya kontrol tektonik di wilayah ini. Sungai-sungai di DAS Cikaingan berorde 1 s/d 6. Karakteristik morfotektonik DAS dirangkum dalam Tabel 5. Tingkat korelasi antara jumlah segmen sungai dan D_d di DAS Cikaingan sangat kuat, namun masih lebih rendah bila dibandingkan dengan tingkat korelasi antara parameter sejenis di DAS Cipandak, walaupun kedua DAS sama-sama berbentuk bulu burung. Rasio cabang sungai berorde 4 dan 5 serta antara sungai berorde 5 dan 6 sangat ekstrim. Kedua nilai R_b jauh di bawah dan di atas kisaran R_b untuk DAS yang dianggap normal atau tidak mengalami deformasi yang ekstrim, yaitu 3 s/d 5 (Strahler (1964; dalam Mulyo, 2003 & Verstapen, 1983). Fenomena ini menunjukkan bahwa pengaruh tektonik sangat kuat pada sungai-sungai berorde 4, 5, dan 6. Kerapatan pengaliran di bagian hulu dan hilir juga menunjukkan perbedaan yang ekstrim. Tipe sesar normal dengan blok bagian utara relatif bergerak turun terhadap blok di bagian selatan juga turut mempengaruhi karakteristik morfotektonik yang ekstrim di bagian hulu dan hilir DAS Cikaingan.

Tabel 5. Karakteristik morfotektonik DAS Cikaingan

Orde	Jumlah segmen	Total Panjang (km)	R_b	Luas DAS (km^2)	D_d
1	510	458,40	2,16	273	1,68
2	236	126,80	2,02	273	0,46
3	117	59,42	2,05	273	0,22
4	57	21,65	8,14	273	0,08
5	7	4,79	0,08	273	0,02
6	88	45,25		273	0,17
Jumlah:		716,31		273	2,62

DAS Cikaingan di sekitar Singajaya dikontrol oleh sesar normal. Hasil analisis kerapatan pengaliran antara dua blok sesar di bagian hulu dan hilir S. Cikaingan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Dalam taraf nyata 0,20 terdapat perbedaan rata-rata antara D_d blok sesar

bagian hulu dan D_d blok sesar bagian hilir. Berdasarkan nilai rata-rata D_d tampak bahwa blok sesar di bagian hulu relatif lebih hancur dibandingkan blok sesar di bagian hilir. Fenomena ini mencerminkan Blok sesar di bagian hulu relatif bergerak (*hanging wall*) terhadap Blok sesar di bagian hilir (*foot wall*). Bukti pendukung adanya kontrol struktur geologi adalah adanya kelurusan geomorfologi, air terjun, zona longsoran yang menerus, dan lembah yang relatif sempit serta dalam.

Potensi Energi Listrik

Berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilengkapi hasil publikasi penelitian terdahulu, diperoleh 67 lokasi pengukuran variabel yang terkait dengan perhitungan kuantitas potensi energi listrik. Potensi energi listrik tertinggi yaitu sekitar 1.925,16 watt terdapat di wilayah Sugihmukti (Cianjur) yang terletak di DAS Cipandak (Tabel 6). Sementara potensi yang terendah di Kertamukti (Garut) sebesar 0,2 watt dan di Depok (Garut) yang termasuk dalam DAS Cikandang (Tabel 6), dan Toblong (Garut) yang termasuk DAS Cikaingan sebesar 0,36 watt (Tabel 6). DAS Cipandak memiliki potensi energi listrik yang relatif tinggi, yaitu sebagian besar lebih dari 1.000 watt. Sementara itu di DAS Cikaingan yang memiliki potensi energi listrik lebih dari 1.000 watt hanya di Singajaya. Beberapa lokasi lainnya rata-rata kurang dari 1.000 watt (Gambar 5).

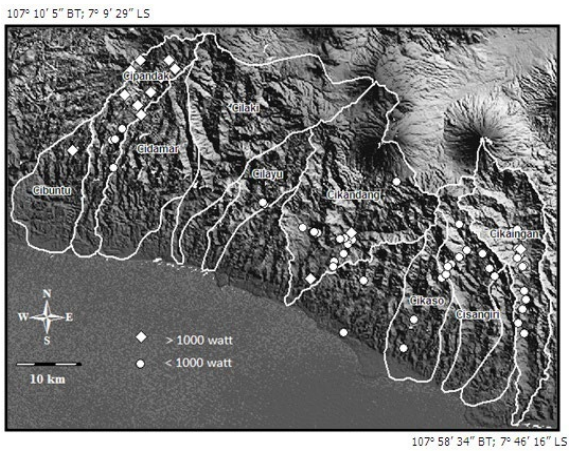
Potensi energi listrik relatif tinggi di DAS Cikandang, menempati geomorfologi yang dikontrol oleh sesar, yaitu di Jatiwangi dan Tanjungmulya. Beberapa lembah di bagian tengah hingga hilir relatif menyempit. Bagian DAS yang menyempit mencerminkan tingginya potensi energi listrik di kawasan ini. Salah satu penyebabnya adalah ada-nya kontrol struktur geologi, sehingga menghasilkan geomorfologi berlereng terjal dan berlembah sempit.

Korelasi Antara Morfotektonik dan Potensi Energi Listrik

Beberapa karakteristik morfotektonik dapat dikorelasikan dengan kuantitas potensi energi mikro hidro. Pada persamaan (2) diketahui ada faktor *head* (elevasi jatuhan) yang diberi simbol H. Faktor tersebut akan tinggi nilainya bila kemiringan lereng relatif terjal.

Di wilayah yang tersusun oleh batuan relatif keras dan dikontrol oleh tektonik maka kemiringan lereng cukup terjal yang dikenal sebagai gawir (*scarp*). Bila ada aliran permukaan yang melintasi geomorfologi ini, maka energi kinetik yang dihasilkan akan besar dan berimbas pada besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan.

Parameter karakteristik morfotektonik lainnya adalah rasio cabang sungai (R_b). Debit aliran yang besar akan tergantung pada pasokan aliran air dalam suatu saluran. Bila pasokan aliran besar maka debit aliran akan besar pula. Nilai R_b yang besar menandakan banyaknya anak-anak sungai berorde tertentu yang memasok air ke dalam sungai orde berikutnya. Akibatnya debit aliran akan besar pula. Namun, fenomena nilai R_b ini ada ukurannya, bila lebih kecil dari 3 atau lebih besar dari 5 maka ada sesuatu yang mengakibatkan deformasi cukup ekstrim (Strahler (1964; dalam Mulyo, 2003 & Verstappen, 1983).



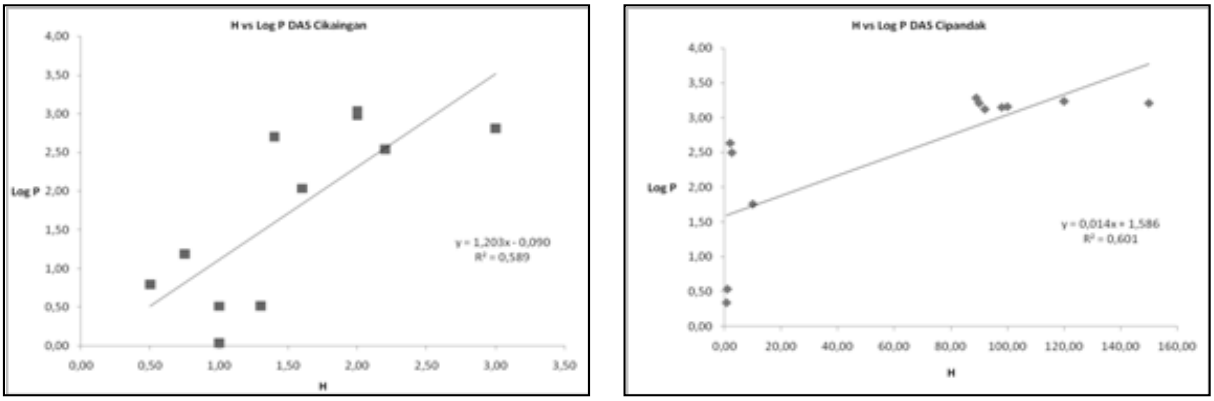
Gambar 5. Potensi energi mikro hidro terkait karakteristik morfotektonik DAS.

Fenomena yang menarik ditunjukkan oleh DAS Cipandak dan Cikaingan. Kedua DAS memiliki kemiripan bentuk DAS, namun memiliki karakteristik morfotektonik yang berbeda (Gambar 4). Hasil uji beda rata-rata terhadap potensi energi listrik di kedua DAS menunjukkan hasil yang

Tabel 6. Potensi energi listrik di DAS Cipandak, DAS Cikandang, dan DAS Cikaingan

No.	Lokasi	DAS	Daya (watt)	Q (m^3/ det)	H (m)
1	Malati , Cianjur (107° 19’ 44,1” BT ; 7° 22’ 3,4” LS)	Cipandak	2,21	0,44	0,70
2	Naringgul, Cianjur (107° 19’ 56,2” BT ; 7° 19’ 33,1” LS)	Cipandak	3,46	0,48	1,00
3	Sukabakti, Cianjur (107° 20’ 29,87” BT ; 7° 18’ 39,07” LS)	Cipandak	57,68	0,80	10,00
4	Sukabakti, Cianjur (107° 21’ 40,8” BT ; 7° 16’ 43,5” LS)	Cipandak	316,35	16,88	2,60
5	Naringgul, Cianjur (107° 19’ 38” BT ; 7° 19’ 38,8” LS)	Cipandak	432,62	30,00	2,00
6	Sugihmukti, Cianjur (107° 24’ 34,25” BT ; 7° 12’ 43,78” LS)	Cipandak	1.326,70	2,00	92,00
7	Sukabakti, Cianjur (107° 21’ 52,92” BT ; 7° 16’ 37,21” LS)	Cipandak	1.413,23	2,00	98,00
8	Balegede, Cianjur (107° 20’ 43,47” BT ; 7° 15’ 44,67” LS)	Cipandak	1.442,70	2,00	100,00
9	Sugihmukti, Cianjur (107° 21’ 16,62” BT ; 7° 13’ 40,97” LS)	Cipandak	1.622,33	1,50	150,00
10	Sukabakti,Cianjur (107° 23’ 0,08” BT ; 7° 15’ 30,03” LS)	Cipandak	1.622,33	2,50	90,00
11	Sugihmukti,Cianjur (107° 22’ 5,7” BT ; 7° 12’ 43,78” LS)	Cipandak	1.730,48	2,00	120,00
12	Sugihmukti, Cianjur (107° 25’ 3,42” BT ; 7° 13’ 30,33” LS)	Cipandak	1.925,16	3,00	89,00
13	Depok, Garut (107° 39’ 40,2” BT ; 7° 28’ 3,4” LS)	Cikandang	0,36	0,13	0,40
14	Depok, Garut (107° 39’ 18,6” BT ; 7° 28’ 11,1” LS)	Cikandang	0,65	0,20	0,45
15	Tegalgede, Garut (107° 38’ 40,7” BT ; 7° 30’ 31,6” LS)	Cikandang	0,87	0,40	0,30
16	Gunamekar, Garut (107° 37’ 17,8” BT ; 7° 27’ 36,7” LS)	Cikandang	1,05	0,23	65,00
17	Neglasari, Garut (107° 38’ 40,7” BT ; 7° 30’ 31,6” LS)	Cikandang	4,04	0,56	1,00
18	Sukamulya, Garut (107° 39’ 56,4” BT ; 7° 28’ 36,3” LS)	Cikandang	7,38	1,28	0,80
19	Tegalgede, Garut (107° 38’ 46,8” BT ; 7° 30’ 5,8” LS)	Cikandang	21,92	4,00	0,76
20	Cihikeu, Garut (107° 36’ 4,6” BT ; 7° 27’ 9,3” LS)	Cikandang	72,10	10,00	1,00
21	Sukamulya, Garut (107° 40’ 19,7” BT ; 7° 28’ 12,4” LS)	Cikandang	363,40	24,00	2,10
22	Cikandang, Garut (107° 44’9,6” BT ; 7°23’12,9” LS)	Cikandang	519,15	2,40	30,00
23	Gunamekar, Garut (107° 37’ 3,76” BT ; 7° 27’ 33,35” LS)	Cikandang	525,24	42,85	1,70
24	Gunamekar, Garut (107° 36’ 55,5” BT ; 7° 27’ 31,9” LS)	Cikandang	830,63	96,00	1,20
25	Tanjungmulya, Garut (107° 36’ 46,2” BT ; 7° 31’ 35,2” LS)	Cikandang	1.176,73	102,00	1,60
26	Jatiwangi, Garut (107° 40’ 13,7” BT ; 7° 27’ 38,3” LS)	Cikandang	1.384,39	96,00	2,00
27	Toblong, Garut (107° 55’ 0,8” BT ; 7° 34’ 13,4” LS)	Cikaingan	0,36	0,05	1,00
28	Karangagung, Garut (107° 54’ 58” BT ; 7° 30’ 34,9” LS)	Cikaingan	1,08	0,15	1,00
29	Karangagung,Garut (107° 55’ 6,8” BT ; 7° 30’ 30” LS)	Cikaingan	3,24	0,45	1,00
30	Toblong, Garut (107° 54’ 37” BT ; 7° 35’ 27,1” LS)	Cikaingan	3,28	0,35	1,30
31	Singajaya, Garut (107° 54’ 47,5” BT ; 7° 29’ 30,5” LS)	Cikaingan	6,23	1,73	0,50
32	Singajaya, Garut (107° 54’ 30,4” BT ; 7° 28’ 58,5” LS)	Cikaingan	15,41	2,85	0,75
33	Ciudian, Garut (107° 54’ 7,2” BT ; 7° 27’ 32,4” LS)	Cikaingan	108,16	9,38	1,60
34	Karangagung, Garut (107° 49’ 33,2” BT ; 7° 29’ 49,1” LS)	Cikaingan	216,31	0,60	50,00
35	Sukamulya,Garut (107° 54’ 32,4” BT ; 7° 27’ 21” LS)	Cikaingan	347,00	21,88	2,20
36	Campaksari,Garut (107° 55’ 7,7” BT ; 7° 36’ 20,5” LS)	Cikaingan	504,72	50,00	1,40
37	Sukanagara, Garut (107° 55’ 16,2” BT ; 7° 33’ 23,1” LS)	Cikaingan	648,93	30,00	3,00
38	Saribakti, Garut (107° 55’ 6,6” BT ; 7° 32’ 38,9” LS)	Cikaingan	961,86	66,70	2,00
39	Singajaya, Garut (107° 54’ 49,4” BT ; 7° 29’ 4,6” LS)	Cikaingan	1.093,52	75,83	2,00

berbeda. Berdasarkan hasil uji beda rata-rata tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa populasi data potensi energi listrik di DAS Cipandak dan DAS Cikaingan berbeda, yang ditunjukkan oleh nilai t hitung yang lebih besar dibandingkan dengan nilai t tabel pada a = 0,05 dan dk = 24. Kondisi yang sama juga terjadi pada karakteristik morfotektonik DAS rasio cabang sungai yang lebih besar dari t tabel pada a = 0,5 dan dk = 7.



Gambar 6. Korelasi antara elevasi jatuhan (H) dan logaritma daya energi listrik (Log P), koefisien korelasi (r) = 0,767 di DAS Cikaingan dan (r) = 0,775 di DAS Cipandak.

Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui adanya hubungan antara karakteristik morfotektonik suatu DAS dan kuantitas potensi energi listrik tenaga air yang dihasilkan. Pengujian dilakukan terhadap populasi potensi energi listrik (P) dan ketinggian efektif (H) sebagai variabel yang mewakili aspek morfotektonik. Data potensi energi listrik (P) dibuat logaritma untuk mendapatkan kurva yang tampak lebih jelas. Grafik hubungan antara karakteristik morfotektonik dan potensi energi listrik untuk DAS Cipandak dan DAS Cikaingan ternyata memiliki pola yang jelas (grafik linear), yaitu antara H dan Log P berbanding lurus (Gambar 6). Adanya peningkatan H akan direspon dengan adanya peningkatan potensi energi listrik. Kedua DAS dalam hal ini mengalami kontrol tektonik yang kuat. Sementara di DAS Cikandang, pola yang jelas tidak tampak dan cenderung sulit mencari hubungan di antara H dan Log P secara regional. Kontrol tektonik di DAS Cikandang tidak menghasilkan karakteristik geomorfologi yang ekstrim sehingga sulit memprediksi potensi energi listriknya.

Adanya kawasan rawan bahaya alam di kawasan Cianjur-Garut bagian selatan, diantaranya gempa bumi dan longsor, maka perlu diperhatikan dalam memilih lokasi untuk menempatkan instalasi mikro hidro. Studi yang lebih detil perlu dilakukan untuk menyusun peta risiko bencana. Peta ini dapat memberikan informasi wilayah relatif berisiko rendah akan ancaman bencana yang sewaktu-waktu dapat terjadi.

SIMPULAN

Beragam struktur geologi berumur Kuarter mengontrol kawasan Cianjur-Garut bagian selatan. Fenomena ini dicerminkan oleh geomorfologi dengan bentuk DAS memanjang dan ramping. Jaringan pengaliran berpola menangga dengan orde sungai 1 dan 2. Kondisi ini memungkinkan debit air permukaan relatif besar dengan elevasi jatuhan yang tinggi. Karakteristik morfotektonik yang berbeda menghasilkan potensi energi listrik yang berbeda pula. Tipe dan posisi struktur geologi yang mengontrol DAS mempengaruhi kuantitas potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan. DAS Cipandak dikontrol oleh sesar mendatar berarah utara-selatan yang diduga merupakan reaktivasi struktur pola Sunda. DAS Cikaingan dikontrol oleh sesar normal berarah relatif barat laut-tenggara yang melintang di bagian tengah DAS. Sesar ini diduga merupakan reakstivasi dari struktur pola Sumatera. Sumberdaya air permukaan dengan debit dan ketinggian optimum akan berlimpah bila didukung oleh bentangalam yang dikontrol oleh tektonik dan didukung oleh iklim serta tata guna lahan yang memadai. Daya listrik rata-rata lebih dari 1.000 watt tersedia di DAS Cipandak. Namun perlu diperhatikan berkaitan dengan wilayah berisiko tinggi ancaman bencana alam. Penempatan instalasi mikro hidro seharusnya memilih wilayah dengan risiko ancaman yang relatif rendah. Peta risiko bencana perlu segera dibuat agar pemanfaatan optimal potensi energi mikro hidro di wilayah ini dapat segera terealisasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Rektor UNPAD, Ketua LPPM UNPAD, dan Dekan Fakultas Teknik Geologi UNPAD, atas dukungan dana Hibah Penelitian Andalan UNPAD 2010. Terima kasih kami sampaikan pula kepada Prof. Dr. Ir. H. R. Febri Hirnawan, Dr. Ir. Ildrem Syafri, DEA, dan Dr. Ir. H. Dicky Muslim, M.Sc. atas koreksi dan masukannya sehingga hasil penelitian menjadi lebih berbobot. Kepada semua pihak yang telah turut andil, kami juga mengucapkan terima kasih. Semoga artikel ilmiah ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

Alzwar, M., Akbar, N. & Bachri, S. 1992. Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa. Skala 1:100.000. Bandung: PPPG.

Departemen SDE & Mineral. 2007. Mikro hidro. Clearinghouse Energi Terbarukan dan Konservasi Energi. http://www.w3.org/1999/xhtml. Diunduh 29 Oktober 2009.

Doornkamp, J. C. 1986. *Geomorphological Approaches to the Study of Neotectonics*. Journal of Geological Society, Vol. 143: 335-342.

Hirnawan, R.F & Muslim, D. 2006. *Drainage Morphometry Characterizing Active Tectonism in West Java*. Bangkok: Proceeding of 2006 MapAsia International Conference. 18 p.

Koesmono, K, Kusnama, & Suwarna, N. 1996. Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru. Skala 1:100.000, Edisi ke-2. Bandung: PPPG.

Mulyo, Agung. 2003. Kontrol Geomorfologi Terhadap Pola Hidrologi di DAS Cikapundung Hulu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, Vol. 1, No. 1: 33-40.

Pulunggono, A. & Martodjojo, S. 1994. Perubahan Tektonik Paleogene-Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. *Proceedings* Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Pertamina.

Situmorang, B., Siswoyo, Endang Thajib, & Paltrinieri F. 1976. *Wrench Fault Tectonics and Aspects of Hydrocarbon Accumulation in Java*. Proceedings IPA.

Sudradjat, Adjat. 1992. Jawa Barat selatan sebagai potensi yang terpendam. Proceeding Seminar Proyeksi Pengem bangan Wilayah Jawa barat bagian selatan. Bandung: HMG UNPAD.

Sosrodarsono, Suyono, dan Takeda, Kensaku. 1976. Hidrologi untuk Pengairan. Jakarta: PT.Pradnya Paramita. Edisi ke-6: 226 h.

Sudjana. 1989. Metoda Statistik. Bandung: Penerbit Tarsito. Edisi ke-5. 508 h.

Sudradjat, Adjat, Syafri, Ildrem, Sukiyah, Emi, & Sulaksana, Nana. 2009. Karakteristik sumber daya geologi di Kawasan Jawa Barat bagian selatan sebagai referensi pengembangan sumber energi alternatif. Laporan Penelitan Strategis Nasional, LPPM UNPAD.

Sukiyah, Emi dan Mulyono. 2007. Morfometri Daerah Aliran Sungai pada Bentangalam Vulkanik Kuarter Terdeformasi. *Bulletin of Scientific Contribution Vol. 5, No.3, Desember 2007:1-8.*

Sukiyah, Emi, Syafri, Ildrem, Mulyo, Agung, & Agus Nur, Andi. 2007. Kajian informasi geologi kawasan Gunung Wayang dan sekitarnya: aplikasi untuk pengembangan pariwisata Bandung Selatan. Laporan PHB, LPPM UNPAD.

Sukiyah, Emi, Hendarmawan, Rosana, M. F., & Sulaksana, Nana. 2010. Karakteristik morfotektonik dalam hubungannya dengan kuantitas potensi energi alternatif

di kawasan rawan bahaya alam. Laporan Akhir Penelitian Andalan Unpad. Bandung: LPPM Unpad. 189 h.

Sugiyono. 1999. Statistika untuk Penelitian. Bandung: Penerbit CV Alfabeta. Cetakan ke-2: 306 h

Verstappen, H. Th. 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. New York: Elsevier Science Pub. Co. Inc. 437 p.