

## PATAHAN AKTIF DAN KEGEMPAAN DAERAH PLTA CIRATA - SAGULING DAN SEKITARNYA

A. Soehaimi

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

### Sari

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cirata dan Saguling terletak pada lajur patahan aktif naik Citarum –Cisomang (1) dan patahan aktif naik Saguling (2). Pemodelan gaya berat berarah utara-selatan, memperlihatkan struktur geologi tersebut sebagai bidang pemisah cekungan struktur Cirata dan Saguling yang diisi oleh Endapan Gunung api Muda. Kegempaan mikro di Wilayah Cirata (I), Saguling (II) dan Pasir Cabe (III), memiliki kedalaman sangat dangkal < 10 km dengan mekanisme fokal gerak patahan naik, geser, dan normal. Kekuatan gempa bumi maksimum terhitung berdasarkan nilai pergeseran tegak pada kedua patahan naik utama tersebut di atas adalah 7 Ms, dalam periode ulang 80 tahun.

Kata kunci : patahan aktif, kekuatan maksimum gempa bumi, periode ulang, Cirata

### Abstract

*Electric Hydro Power of Cirata (PLTA) and Saguling are located at the active thrust fault of Citarum – Cisomang (1) and Saguling (2). The gravity modelling on the north – south direction, shows these structures geology as the boundaries of the structural basin of Cirata and Saguling which are filled by Young Volcanic Deposites. Microearthquakes at the Saguling (I), Cirata (II) and Pasir Cabe (III), have the depth of < 10 Km and shown the thrust, strike slip and normal fault focal mechanisms. The maximum magnitude calculated which was based on the vertical displacement (dip slip) of two main revers fault above are 7 Ms with return period of 80 years.*

*Keywords: active fault, maximum magnitude, return period, Cirata*

### Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cirata dibangun pada aliran Sungai Citarum yang diapit oleh PLTA Saguling di selatan dan PLTA Jatiluhur di utara. Sebagai aset pemerintah yang sangat penting, keselamatan ketiga PLTA ini dari bahaya guncangan gempa bumi yang bersumber dari patahan aktif di sekitarnya perlu mendapat perhatian. Deformasi neotektonik (seismogenetik) yang melatarbelakangi kegempaan di sekitar PLTA Cirata, dapat diamati dari data geologi dan data geofisika, sehingga penampakan di permukaan dan di bawah permukaan dapat diketahui. Di permukaan dijumpai adanya perubahan bentang alam dan patahan aktif, sedangkan di bawah permukaan didasarkan atas pemodelan gaya berat dan sebaran tegak kegempaan mikro dianalisis berdasarkan kedalaman gempa bumi dan mekanisme fokalnya.

### Tujuan

- Menentukan pola tektonik patahan aktif di permukaan dan bawah permukaan berdasarkan analisis geologi dan geofisika gaya berat dan kegempaan mikro
- Menghitung kekuatan maksimum gempa bumi dan periode ulang aktivitasnya berdasarkan deformasi struktur patahan
- Peringatan dini bahaya gempa bumi tektonik patahan aktif

### Metodologi

Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah :

- Kajian geologi meliputi analisis tektonika regional, bentang alam, stratigrafi dan batuan, kinematika struktur geologi patahan aktif
- Kajian geofisika yang meliputi penelitian, kajian dan analisis gaya berat dan kegempaan mikro

- Perpaduan kedua metode dasar tersebut di atas diharapkan dapat memberikan nilai kuantitatif besarnya potensi bencana gempa bumi di daerah ini.

## Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian (Gambar 1) terletak di aliran sungai Citarum, mulai dari daerah sekitar PLTA Saguling, jembatan Rajamandala, Pasir Cabe, dan Pasir Cantayan di sekitar PLTA Cirata. Lokasi ini dapat dicapai dengan kendaraan roda dua dan roda empat berjarak 25 km dari pusat kota Bandung.

## Tektonika dan Struktur Geologi

Tektonika dan struktur geologi daerah penelitian di sekitar PLTA Cirata dan Saguling ini akan membahas tentang periode tektonik dan struktur geologi khususnya jenis dan kinematika patahan.

## Tektonika

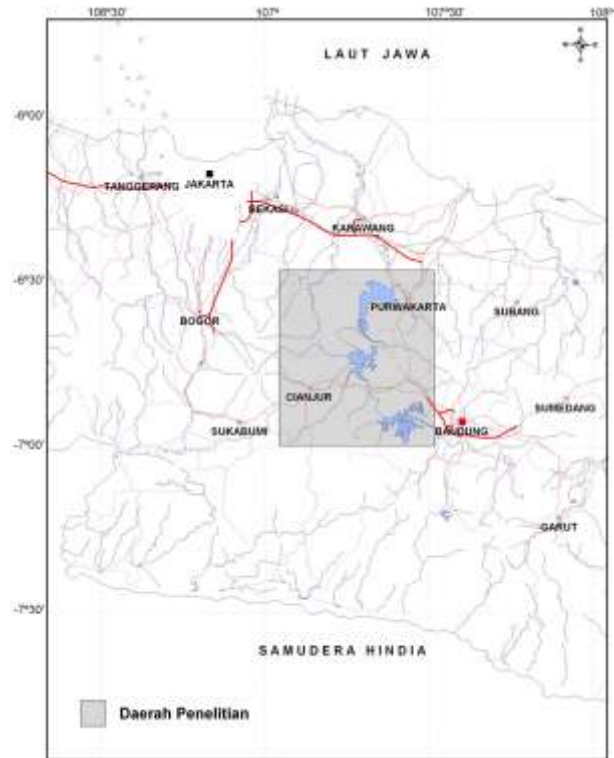
Kajian tektonika di sepanjang aliran Sungai Citarum di sekitar kedua PLTA ini, menunjukkan bahwa aktifitas tektonik telah berlangsung sejak kala Oligosen atau 38 juta tahun yang lalu, terdiri atas 4 periode tektonik yakni periode tektonik Oligosen-Miosen, Miosen-Pliosen, Kuartar (Plistosen) dan Holosen (Soehaimi dr. 1998).

## Tektonika Oligosen-Miosen

Periode tektonik Oligosen-Miosen dicirikan oleh adanya ketidakselarasan antara batuan berumur Oligosen dengan batuan berumur Miosen. Batuan berumur Oligosen tersebut dijumpai di sebelah selatan PLTA Cirata, yakni di sekitar punggung Rajamanda. Batas tegas berupa kontak struktur patahan naik merupakan penciri ketidakselarasan tektonika antara batuan berumur Oligosen dengan batuan berumur Miosen yang mendominasi kawasan di sebelah utara punggung Rajamandala.

## Tektonika Miosen-Pliosen

Tektonika Miosen-Pliosen ini dicirikan oleh peningkatan aktivitas kegunung apian. Sebagai penciri adanya peningkatan aktivitas kegunung apian tersebut batuan berumur Pliosen dijumpai didominasi oleh material gunung api. Berbeda dengan batuan Miosen yang pada umumnya merupakan sedimen laut. Selain adanya aktivitas kegunung apian pada periode tektonik ini terjadi



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian PLTA Cirata - Saguling.

pengaktifan kembali patahan-patahan yang ada pada batuan dasar Oligosen dengan munculnya patahan-patahan naik yang berarah sama dengan patahan-patahan naik Oligosen seperti dijumpai di Pasir Cabe, Pasir Cantayan, serta di sekitar tubuh bendungan PLTA Jatiluhur. Selain terbentuknya patahan-patahan naik pada periode tektonik ini juga terbentuk patahan-patahan geser dengan arah umum utara-selatan.

## Tektonik Kuartar (Neotektonik)

Tektonik Kuartar di daerah ini di cerminkan oleh adanya aktivitas kegunung apian yang cukup intensif. Hal ini diperlihatkan oleh dominasi produk sedimen gunung api berupa breksi, lahar, lava, tufa, dan lafili. Peningkatan aktivitas kegunung api yang signifikan pada periode tektonik setelah Miosen-Pliosen dicirikan oleh munculnya pusat-pusat erupsi gunung api di sekitar kawasan ini seperti Gunung Limo, Gunung Geger Bentang, Gunung Tangkuban Perahu serta Gunung Gede Pangrango. Munculnya pusat-pusat erupsi ini akibat adanya peristiwa tektonik yang di dominasi oleh gaya regangan. Peregangan ini mengakibatkan struktur-struktur yang ada sebelumnya mengalami relaksasi dan kemudian membentuk sistem patahan-patahan turun sebagai proses kesetimbangan.

### Tektonika Holosen (Neotektonik)

Aktivitas tektonik Holosen di daerah ini dapat diamati dari dinamika pengendapan teras teras sungai, gerakan tanah dan rayapan aktif, kegempaan serta pergeseran di permukaan. Adanya perubahan dinamika pengendapan aluvium sungai di sepanjang alur sungai Citarum secara tegak dan horizontal yang membentuk sistem teras sungai merupakan indikasi adanya gerak neotektonik Holosen. Selain dinamika pengendapan teras sungai, aktivitas neotektonik Holosen di daerah ini dicirikan oleh adanya sistem gerakan tanah dan rayapan sepanjang lajur patahan seperti dijumpai di sekitar Desa Cipeundeuy dan Rendeh. Pergeseran tegak maupun horizontal hasil pengukuran geodetik yang dilakukan di daerah bendungan PLTA Cirata merupakan salah satu ciri kuantitatif adanya aktivitas neotektonik Holosen di daerah ini. Selain itu, hasil pemantauan gempa bumi mikro yang dilakukan oleh Puslitbang Geologi periode Desember 1986 sampai Januari 1987 serta periode September 1987 hingga Januari 1988 telah menunjukkan adanya aktivitas gempa bumi mikro yang berasosiasi dengan struktur-struktur patahan aktif di daerah ini.

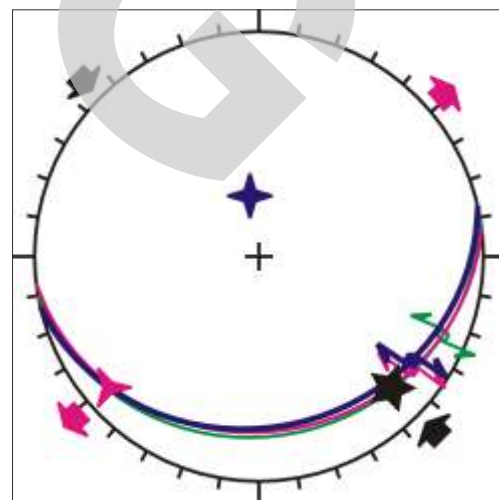
### Struktur Geologi

Struktur geologi daerah PLTA Cirata dan sekitarnya terdiri atas struktur geologi perlapisan batuan, lipatan, patahan dan kekar. Struktur geologi lipatan dapat dijumpai berupa struktur lipatan antiklin dan sinklin, sedangkan struktur patahan dijumpai berupa struktur patahan naik, geser dan normal. Selain itu dapat dijumpai adanya kekar tarik dan kekar gerus. Berdasarkan analisis geologi struktur daerah sekitar PLTA Cirata ini didapatkan adanya struktur lipatan utama, yakni struktur lipatan sinklinal Cipeundeuy yang terletak di sebelah selatan tubuh bendungan PLTA Cirata dan struktur lipatan sinklinal Plered yang dapat dijumpai di sebelah utara bendungan. Kedua sistem lipatan sinklinal tersebut, mengapit struktur lipatan antiklin yang telah mengalami pensesaran naik dan turun di sebelah utara poros bendungan, tepatnya pada aliran Sungai Citarum berarah barat-timur di sebelah utara Pasir Cantayan. Kedua lipatan utama tersebut mempunyai arah sumbu relatif barat-timur dan mengikuti pola jurus struktur perlapisan batuan di daerah ini.

Struktur patahan utama yang dapat dijumpai di daerah sekitar PLTA Cirata ini berupa struktur patahan naik Citarum-Cisomang (1), patahan naik

Saguling (2) dan patahan naik Pasir Cabe (3). Sementara struktur patahan geser dijumpai berarah umum utara-selatan, memotong sumbu lipatan dan patahan naik. Beberapa patahan geser yang dapat dikenal di daerah ini tidak merupakan patahan geser murni tetapi merupakan patahan geser kombinasi turun dan naik (miring). Patahan geser utama adalah patahan geser turun Cilaleuy yang berarah barat laut – tenggara dan terletak di sebelah timur poros bendungan Cirata. Struktur kekar yang dapat diamati dan di analisis di daerah ini yaitu struktur kekar tektonik berupa kekar gerus dan kekar tarik. Arah jurus dan kemiringan kekar-kekar tersebut sangat bervariasi dan sangat bergantung pada lajur patahan-patahan utama yang membentuknya. Berdasarkan analisis kinematika patahan dan kekar yang berkembang pada batuan gunung api muda Kuarter di daerah ini, dapat dinyatakan gaya utama yang bekerja adalah utara-selatan. Kekar dan patahan ini diduga terjadi pada Plistosen akhir sebab memotong batuan gunung api yang berumur Plistosen akhir.

Patahan naik Citarum – Cisomang (1) di jumpai di kaki bukit Pasir Cantayan. Kinematika patahan ini analisis berdasarkan dengan streonet data cermin patahannya, maka didapat  $\sigma_1$  berarah U  $135^\circ$  T,  $\sigma_2$  berarah U  $352^\circ$  T,  $\sigma_3$  berarah U  $299^\circ$  T, dengan arah kompresi maksimum U  $135^\circ$  T dan regangan umum berarah U  $048^\circ$  T (Gambar 2 dan 3). Selain data cemin patahan, patahan ini juga di tunjukkan oleh kekar kekar yang bersifat kompresional, yang menunjukkan pola patahan naik berarah barat-barat laut – timur-timur laut dengan tegasan utama U  $205^\circ$  T.



Gambar 2. Analisis streonet patahan naik Citarum - Cisomang memperlihatkan arah kompresi umum U  $135^\circ$  T dan regangan umum U  $048^\circ$  T.

Patahan geser menganan turun Cilaley berdasarkan analisis data streonet cermin, patahan di Sungai Cileleuy didapat  $\sigma_1$  berarah U  $323^\circ T$ ,  $\sigma_2$  berarah U  $135^\circ T$ ,  $\sigma_3$  berarah U  $229^\circ T$ , dengan arah kompresi umum berarah U  $130^\circ T$  dan regangan umum berarah U  $179^\circ T$ . Selain data cermin patahan ini juga di tunjukan oleh kekar-kekar yang bersifat kompresional. Analisis streonet kekar yang dianggap mewakili data - data tersebut menunjukkan pola patahan geser menganan turun dengan arah barat laut- tenggara dengan arah tegasan utama U  $132^\circ T$  (Gambar 4 dan 5).

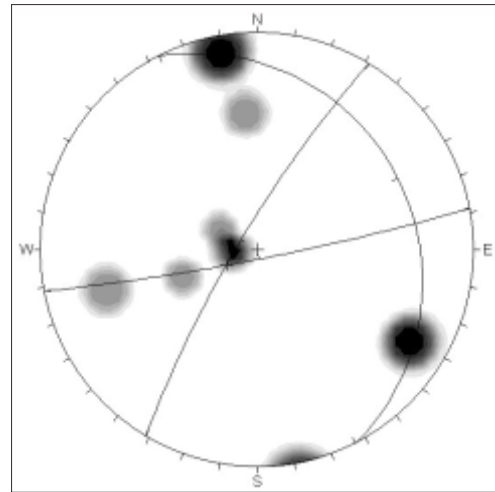
Berdasarkan penampakan di lapangan terlihat kenampakan lembah dimana blok disebelah timur relatif bergerak turun dibandingkan blok barat. Sementara pada penafsiran citra satelit patahan ini merupakan kelurusan yang berarah relatif barat laut – tenggara.

Berdasarkan kedudukan bidang-bidang patahan yang dapat dijumpai di lapangan, patahan Cilaley ini berarah umum U  $323^\circ T$  dengan bidang patahannya miring ke utara. Blok sebelah timur cenderung bergerak relatif turun dibandingkan blok sebelah barat. Dengan ditemukannya lajur-lajur kekar gerus berarah umum U  $300^\circ T$ , maka arah gerak relatif patahan tersebut adalah menganan. Blok sebelah barat bergerak ke arah utara dan blok sebelah timur bergerak ke arah selatan. Patahan ini diperkirakan telah ada pada Miosen tengah, sebab patahan ini memotong batulempung dan batupasir (Formasi Cantayan dan Formasi Jatiluhur) yang kemudian mengalami reaktifasi.

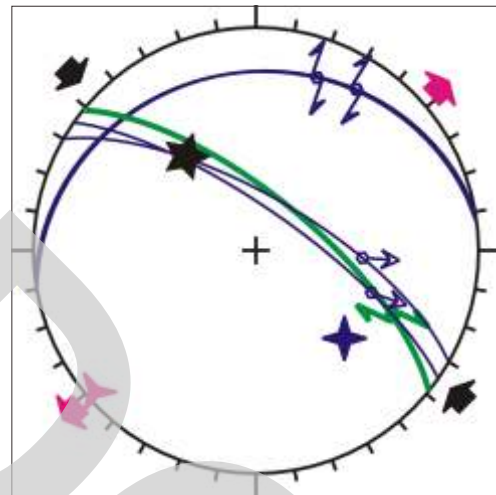
Analisis kinematika patahan turun Cilangkap pada batuan gunung api muda berumur Kuartar yang memperlihatkan arah regangan U  $130^\circ T$ , terlihat dalam Gambar 6 dan 7.

## Gayaberat

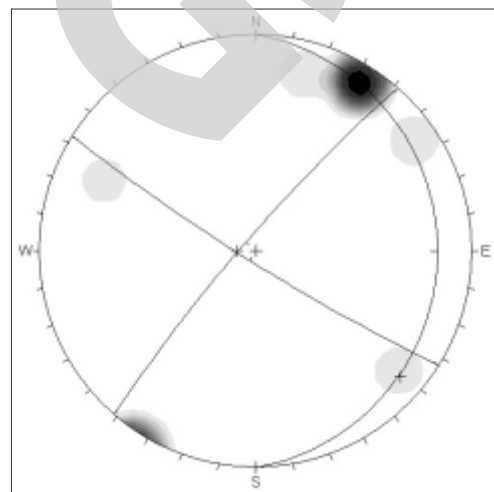
Peta anomali gaya berat lembar Bandung-Cianjur (Nasution dr. 1977) dan telah dianalisis ulang oleh Hutubessy dr. (1988), memperlihatkan bahwasanya bendungan PLTA Saguling dan Cirata terletak pada sisi lekukan anomali rendah. Bendungan PLTA Saguling terletak pada anomali gaya berat merendah dari selatan ke utara, dengan gradien gaya berat 2,5 mgal/km, sedangkan PLTA Cirata dengan harga gradien gaya berat 3,5 mgal/km. Berdasarkan gradient gaya berat tersebut bendungan PLTA Cirata berada pada daerah dengan kondisi



Gambar 3. Analisis Streonet Kekar Stasiun 5, patahan Citarum - Cisomang dengan arah kompresi maksimum U  $163^\circ T$ .



Gambar 4. Analisis streonet patahan geser menganan turun Cilaley memperlihatkan kompresi umum U  $130^\circ T$  dan regangan umum U  $50^\circ T$ .



Gambar 5. Analisis Streonet Kekar Stasiun 10 di Sungai Cileleuy arah kompresi maksimum U  $179^\circ T$ .



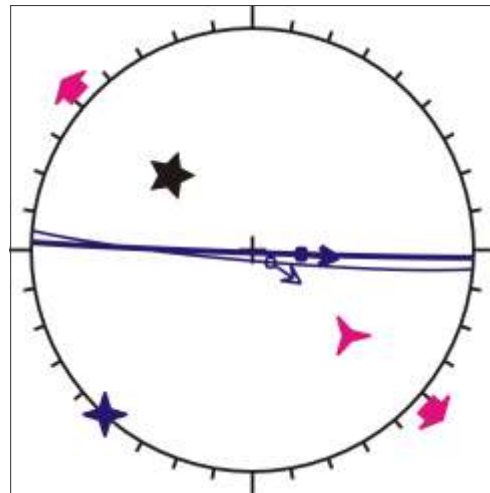
batuan dasar (*basement*) yang lebih miring dari pada bendungan PLTA Saguling atau dengan kata lain bendungan tersebut berada pada posisi yang lebih labil. Hal ini terlihat dengan adanya suatu perubahan anomali yang mencolok dari 40 mgal menjadi 20 mgal pada jarak datar hanya 2,4 km.

Hal ini diduga sebagai akibat adanya kontak patahan. Pemodelan penampang gaya berat utara-selatan memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan berupa suatu cekungan dengan dibatasi litologi yang sangat tegas makin ke selatan PLTA Cirata, yakni di sekitar Pasir Cabe dan makin menipis dengan kontras kerapatan batuan antara - 0,35 hingga 0,4. Cekungan selatan bendungan PLTA Cirata ini diisi oleh batuan sedimen gunung api dengan ketebalan mencapai 8 km, sedangkan ke arah selatan ketebalan sedimen gunung api menipis menjadi 2-3 km. Penampang pemodelan gaya berat dapat dilihat dalam Gambar 8.

#### Patahan Aktif dan Kegempaan

Hasil penelitian kegempaan mikro di daerah sekitar PLTA Cirata–Saguling yang dilakukan pada periode tahun 1986 dan 1987 oleh Puslitbang Geologi, memperlihatkan bahwa gempa-gempa mikro di daerah ini terkonsentrasi di sekitar PLTA Saguling (I), PLTA Cirata (II) dan jalan raya Bandung-Cianjur (III). Gempa-gempa mikro tersebut umumnya mempunyai kedalaman sangat dangkal < 10 km dan diduga kuat disebabkan oleh reaktifasi patahan patahan tua yang berada di sekitar bendungan diantaranya struktur patahan naik aktif Saguling dan Pasir Cabe serta struktur patahan naik aktif Citarum - Cisomang. Sebaran gempa bumi mikro dan mekanisme fokalnya dapat dilihat dalam Gambar 8. Data dari NEIC, USGS (2010) di daerah ini pernah terjadi gempa bumi dengan kekuatan < 5 Mb atau setara dengan 5,2 Ms.

Berdasarkan kondisi struktur geologi dan kegempaan mikronya, di daerah ini dapat ditentukan tiga lajur seismotektonik, yakni lajur seismotektonik patahan aktif naik Citarum – Cisomang (1), lajur seismotektonik patahan aktif naik Saguling (2), dan lajur seismotektonik patahan naik Pasir Cabe (3), (Soehaimi dr. 1998). Berdasarkan penampang pemodelan gaya berat lintasan utara selatan memotong PLTA Saguling dan Cirata, terlihat adanya



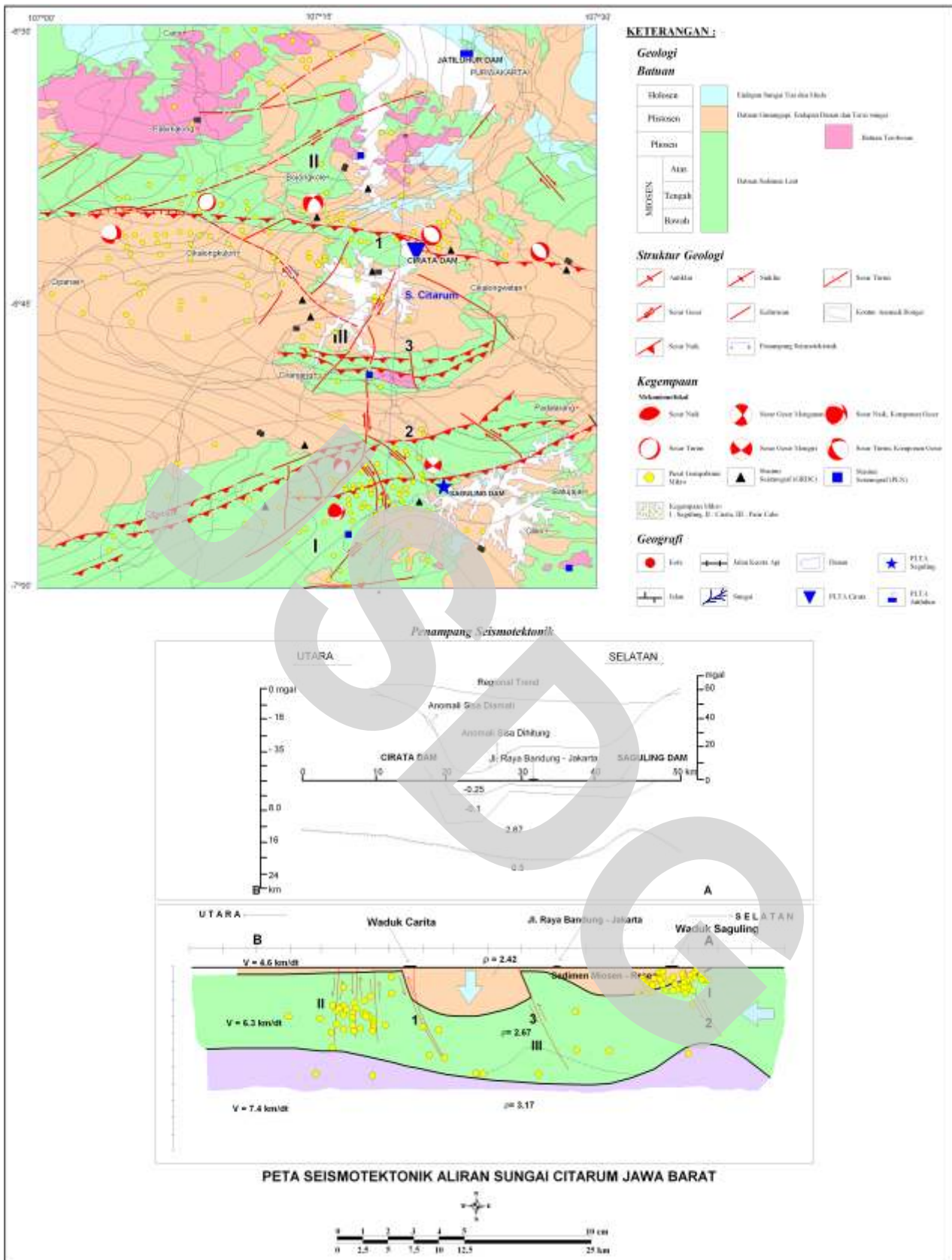
Gambar 6. Analisis streonet patahan turun Cilangkap di Desa Cilangkap yang memotong batuan gunung api muda dan memperlihatkan arah regangan umum U 130°T.



Gambar 7. Singkapan batuan gunung api Kwartir pada gawir patahan turun Cilangkap di Desa Cilangkap.

perubahan anomali gaya berat dari tinggi (tinggian batuan dasar) menjadi rendah (cekungan) pada ketiga lajur patahan tersebut (Gambar 8). Pengamatan lapangan menunjukkan pada ketiga lajur patahan tersebut di atas, dijumpai adanya pergeseran tegak maksimum 10 m. Bila diasumsikan bahwa pergeseran tersebut telah terjadi sejak 1000 tahun yang lalu, berarti terjadi pergeseran minimum sebanyak 10 mm/tahun. *Research Group for Active Fault of Japan* (1992) menjelaskan adanya hubungan antara pergeseran rata-rata " S (mm/tahun) " dan kekuatan maksimum gempa bumi (Ms) yang terjadi dalam interval waktu " R (tahun) " dalam rumus imperisnya sebagai berikut:

$$\text{Log } R = 0,6 \text{ Ms} - (\text{log } S + 1)$$



Gambar 8. Peta Seismotektonik Aliran Sungai Citarum dengan Penampang Geologi Pemodelan Gaya Berat, 1 (patahan naik Citarum-Cisomang), 2 (patahan naik Saguling) dan 3 (patahan naik Pasir Cabe), (Soehaimi dr. 1998, dengan tambahan modifikasi).

Bila kecepatan pergeseran rata - rata per tahun atau  $S = 10$  mm/tahun dan berasosiasi dengan gempa bumi berkekuatan maksimum  $M_s = 7$ , maka selang waktu kejadian gempa bumi berkekuatan  $M_s = 7$  ini adalah dalam selang waktu 160 tahun. Namun, bila kecepatan pergeseran rata rata per tahun atau  $S = 20$  mm/tahun dan berasosiasi dengan gempa bumi berkekuatan maksimum  $M_s = 7$ , maka selang kejadian gempa bumi  $M_s = 7$  ini adalah dalam selang waktu 80 tahun, sedangkan untuk gempa bumi berkekuatan  $M_s = 8$ , maka selang waktu kejadiannya adalah 316 tahun. Untuk gempa bumi berkekuatan lebih kecil  $M_s = 5$  dan  $M_s = 6$  dapat terjadi dalam selang waktu berturut turut 10 tahun dan 40 tahun. Selain itu, kelompok peneliti patahan aktif Jepang, (1992) dengan rumus imperisnya dapat memperkirakan panjang patahan aktif berdasarkan kekuatan gempa bumi yang terjadi sebagai berikut :

$$\text{Log } L = 0,6 M_s - 2,9$$

Untuk gempa bumi berkekuatan  $M_s = 7$ , maka panjang patahan yang aktif adalah sepanjang 19 km, sedangkan untuk gempa bumi berkekuatan  $M_s = 8$ , maka panjang patahan yang aktif adalah 79 km. Berdasarkan penelitian di lapangan patahan di daerah sekitar bendungan Saguling dan Cirata ini tidak melebihi 25 km panjangnya. Oleh karena itu

dapat diperkirakan kekuatan gempa bumi maksimum di daerah ini tidak akan mencapai  $M_s = 7$ .

#### Kesimpulan

- PLTA Cirata dan Saguling terletak pada lajur patahan aktif dan berpotensi menimbulkan gempa bumi berkekuatan 7  $M_s$ , dalam selang waktu 80 tahun.
- Kegempaan mikro di daerah ini umumnya berkedalam dangkal <10 km dan berhubungan erat dengan pengaktifan kembali patahan bermekanisme gerak patahan naik, geser dan turun.
- Pemantauan kegempaan mikro secara periodik perlu dilakukan, mengingat PLTA Cirata berada pada zona patahan aktif.

#### Ucapan Terima kasih

Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Robby Setianegara yang telah membantu penulis dalam menyiapkan gambar dan peta dalam tulisan ini. Selain itu juga kami mengucapkan terima kasih kepada Nengsri Mulyati atas bantuannya.

#### Acuan

- Hutubessy, S., Panjaitan, S., Buyung, N., 1988. Penafsiran struktur bawah permukaan berdasarkan pada analisis data gayaberat dan kegempaan mikro di daerah bendungan Saguling, Cirata, Jawa Barat, *Proc. HAGI tahunan XIII*, Bandung.
- Nasution, J., Imam, S., 1977. *Peta Anomaly Gayaberat Lembar Bandung dan Cianjur Skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- NEIC, USGS., 2010. Data gempabumi Indonesia, 1970 -2010
- Soehaimi, A., Zen, M.T., Hutubessy, S., 1998. Seismotectonic zonation as basic analysis of earthquake hazard in West Java. *Proc. Sym. Japan-Indonesia IDNDR Project Volcanology, Tectonic, Flood and Sediment Hazards*. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University: 199-213.
- Research Group for Active Fault of Japan. 1992. Maps of Active Fault in Japan with an Explanatory Text, University of Tokyo Press. 71: 33-45.