



UNIVERSITAS INDONESIA

**HUBUNGAN KEJADIAN GEMPA BUMI DAN PERUBAHAN SUHU
MATA AIR PANAS DI SESAR CIMANDIRI**

SKRIPSI

**YUDHISTIRA SATYA PRIBADI
0806328871**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN GEOGRAFI
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**HUBUNGAN KEJADIAN GEMPA BUMI DAN PERUBAHAN SUHU
MATA AIR PANAS DI SESAR CIMANDIRI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

**YUDHISTIRA SATYA PRIBADI
0806328871**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN GEOGRAFI
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Yudhistira Satya Pribadi

NPM : 0806328871

Tanda Tangan : 

Tanggal : 3 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Yudhistira Satya Pribadi
NPM : 0806328871
Departemen : Geografi
Judul Skripsi : Hubungan Kejadian Gempa Bumi dan Perubahan Suhu Mata Air Panas di Sesar Cimandiri

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang : Dr.rer.nat. Eko Kusratmoko, MS ()
Pembimbing I : Drs. Supriatna, MT ()
Pembimbing II : Drs. Tjiong Giok Pin, M.Si ()
Penguji : Drs. Frans Sitanala, MS ()
Penguji : Dra. Astrid Damayanti, M.Si ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 3 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu prasyarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Sains Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik dari awal masa perkuliahan hingga akhir, maka akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

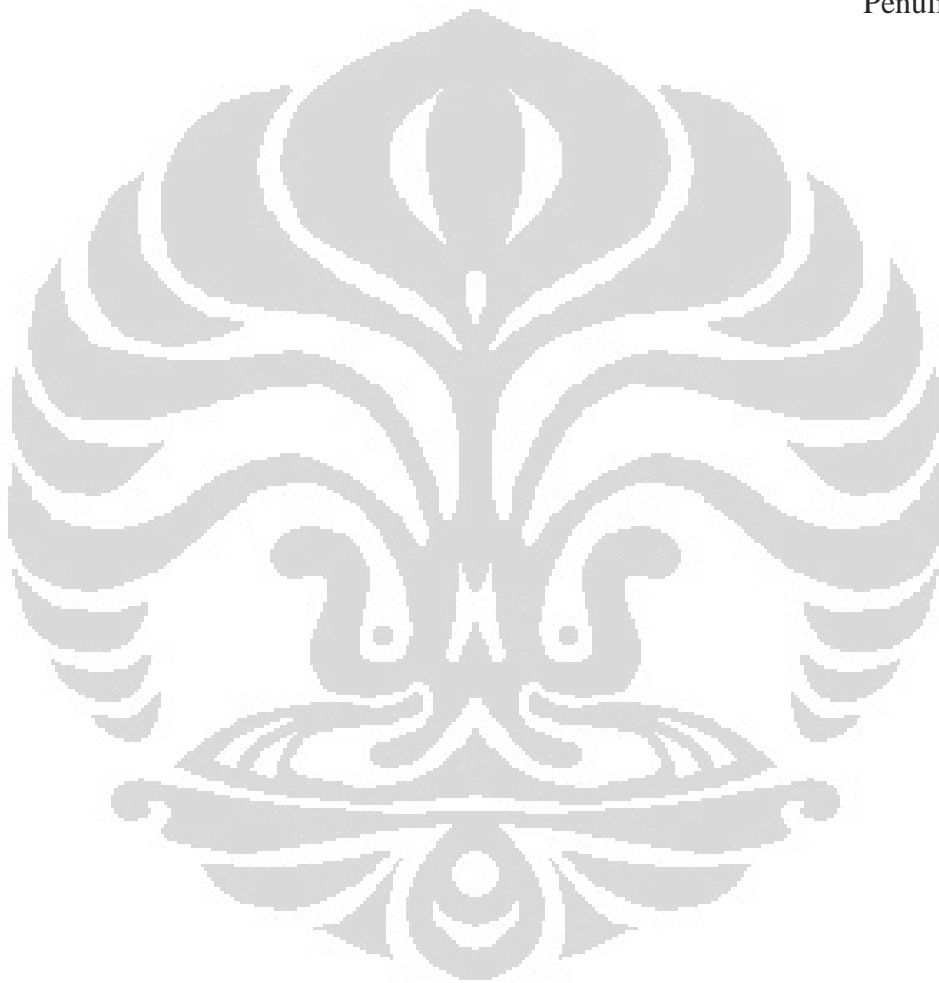
1. Orang tua penulis, Ismail dan Lilis Lastri Widiyati yang telah sangat membantu baik dalam doa, dorongan semangat, serta kepada kakak penulis, Meitha Mandasari yang banyak memberi saran dalam penulisan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
2. Drs. Supriatna, M.T., selaku pembimbing akademik serta dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan penulis bantuan baik dalam penulisan hingga saat survey lapang dilakukan serta kepada Drs. Tjong Giok Pin, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang juga telah memberikan banyak masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Dr.rer.nat Eko Kusratmoko, M.S, selaku ketua sidang, Drs. Frans Sitanala, M.S, dan Dra. Astrid Damayanti, M.Si., selaku dosen penguji atas koreksi, masukan, kritik, dan saran yang membangun bagi penulis dalam skripsi ini.
4. Ibu Lasmini, Bapak Bajang, serta para petugas dari di lokasi mata air panas yang telah membantu penulis dalam kegiatan pengumpulan data survei yang dibutuhkan.
5. Atsni Kautsar Rahmawani, M. Baried Izhom, Satrio Nugroho, Bagus Andriono, Gita R. Diharjo, Dimas Raharjo, dan Moh. Wahid sebagai sahabat, baik selama kuliah, kuliah lapang, skripsi, sampai masa depan nanti.

6. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas semua dukungan dan bantuan untuk penulis.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat.

Depok, 23 Mei 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yudhistira Satya Pribadi
NPM : 0806328871
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

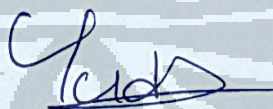
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Hubungan Kejadian Gempa Bumi dan Perubahan Suhu Mata Air Panas
di Sesar Cimandiri

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 3 Juli 2012
Yang menyatakan



(Yudhistira Satya Pribadi)

ABSTRAK

Nama : Yudhistira Satya P
Departemen : Geografi
Judul : Hubungan Kejadian Gempa Bumi dan Perubahan Suhu Mata Air Panas di Sesar Cimandiri

Sebagai sebuah kepulauan yang terbentuk dari aktivitas tektonis dan vulkanis serta sebagai tempat bertemunya beberapa lempeng dunia, Indonesia menjadi wilayah dengan tingkat resiko bencana gempa bumi yang besar. Di lain pihak, upaya dalam memprediksi gempa bumi belum dapat dilakukan dengan optimal dan belum dapat dipastikan secara akurat. Penelitian ini ditujukan sebagai salah satu upaya dalam melihat bagaimana hubungan kejadian gempa bumi dengan perubahan suhu pada mata air panas yang biasanya selalu muncul di daerah yang dilalui oleh sebuah patahan dengan resiko aktivitas gempa bumi yang tinggi. Perubahan suhu yang tercatat pada mata air panas ini yang akan dibandingkan dengan adanya aktivitas gempa bumi untuk dilihat bagaimana asosiasinya. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan adanya perubahan suhu pada mata air panas menjelang adanya aktivitas gempa bumi dengan perubahan yang berbeda-beda terkait pada jarak episentrum gempa bumi dan faktor geologi seperti: jenis batuan, stratigrafi, dan struktur geologi.

Kata kunci : *episentrum; gempa bumi; geologi; suhu*
x + 65 halaman : 17 gambar, 14 tabel
Daftar pustaka : 33 (1949-2011)

ABSTRACT

Name : Yudhistira Satya P
Department : Geography
Title : Association between Earthquake Event and Anomalies of Hotspring Temperature in Cimandiri Fault, West Java

Indonesia, an archipelagic nation that formed from enormous volcanic and tectonic activities has a major risk on earthquake disaster. On the other side, either geologist nor such an international seismologic agencies have found no evidence or accurate facts that could lead them to predict or even overcasting future earthquake would occur. What they got now is only such a models and statistically based predictions on how the earthquake happened in the past and how it will happen in the future. The fault, as we know is one of an earthquake sources that literally have a number of hotsprings as sign if it is active, like we could met in Cimandiri fault. According to several measurements, there are such anomalies that showed in hotsprings temperature when an earthquake occurred in a matter of future time. By considering those anomalies with geological conditions ie: rocks type; stratigraphy; geological structure; and earthquake event itself, we could see that geological conditions in combinations with epicentrum ranges have major involvement in changing and affecting those anomalies and it could be used as the way to predict another future earthquake.

Keywords : *earthquake; epicentrum; geology; temperature*
x + 65 pages : 17 pictures, 14 tables
Bibliography : 33 (1949-2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR FOTO	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Lokasi Penelitian	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gempa Bumi	5
2.2 Gelombang Seismik	7
2.3 Prediksi Gempa Bumi	10
2.4 Mata Air Panas	13
2.5 Sesar Ci Mandiri.....	14
2.6 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Metode Pendekatan	17
3.2 Variabel Penelitian	18
3.3 Pengambilan Data	18
3.4 Pengolahan Data.....	19
3.5 Analisis Data	21
BAB IV GAMBARAN UMUM WILAYAH.....	22
4.1 Letak dan Administrasi	22
4.2 Fisiografi	22
4.3 Struktur Geologi	24
4.4 Lapisan Batuan.....	25
4.5 Jenis Batuan.....	29
4.6 Kegempaan Sesar Cimandiri	32
4.7 Mata Air Panas sekitar Sesar Utama Cimandiri.....	34

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	37
5.1 Aktivitas Gempa Bumi	37
5.2 Perubahan Suhu pada Mata Air Panas	39
5.3 Perbandingan Aktivitas Gempa Bumi dan Perubahan Suhu Mata Air Panas	41
5.3.1 Aktivitas Gempa Bumi 17 Juli	41
5.3.2 Aktivitas Gempa Bumi 24 Juli	43
5.3.3 Aktivitas Gempa Bumi 19 Agustus	44
5.3.4 Aktivitas Gempa Bumi 21 Agustus	45
5.4 Perbandingan Jarak Episentrum Gempa Bumi terhadap Lokasi Mata Air Panas	46
5.4.1 Episentrum Gempa Bumi 17 Juli	46
5.4.2 Episentrum Gempa Bumi 24 Juli	48
5.4.3 Episentrum Gempa Bumi 19 Agustus	51
5.4.4 Episentrum Gempa Bumi 21 Agustus	53
5.5 Asosiasi Aktivitas Gempa Bumi terhadap Perubahan Suhu Mata Air Panas	56
BAB VI PENUTUP	61
6.1 Kesimpulan.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
Lampiran	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Gempa Vulkanik.....	6
Gambar 2.2	Ilustrasi Gempa Runtuhan.....	6
Gambar 2.3	Ilustrasi Gempa Tektonik.....	7
Gambar 2.4	Sumber, Proses, Pergerakan Gelombang Seismik.....	7
Gambar 2.5	Ilustrasi Gelombang dalam Bumi (<i>Body Wave</i>).....	8
Gambar 2.6	Ilustrasi Gelombang Permukaan Bumi (<i>Shear Wave</i>).....	8
Gambar 4.1	Daerah Penelitian.....	22
Gambar 4.2	Zonasi Fisiografi Jawa bagian Barat.....	23
Gambar 4.3	Struktur Geologi Wilayah Jawa Barat.....	25
Gambar 4.4	Lapisan Batuan.....	26
Gambar 5.1	Episentrum Gempa Bumi.....	38
Gambar 5.2	Jarak Episentrum Gempa Bumi 17 Juli 2011.....	47
Gambar 5.3	Jarak Episentrum Gempa Bumi 24 Juli 2011.....	49
Gambar 5.4	Jarak Episentrum Gempa Bumi 19 Agustus 2011.....	52
Gambar 5.5	Jarak Episentrum Gempa Bumi 21 Agustus 2011.....	54
Gambar 5.6	Perbandingan Suhu terhadap Jarak dan Magnitudo Gempa Bumi.....	56
Gambar 5.7	Jenis Batuan dan Episentrum Gempa Bumi 17 Juli 2011.....	59

DAFTAR TABEL

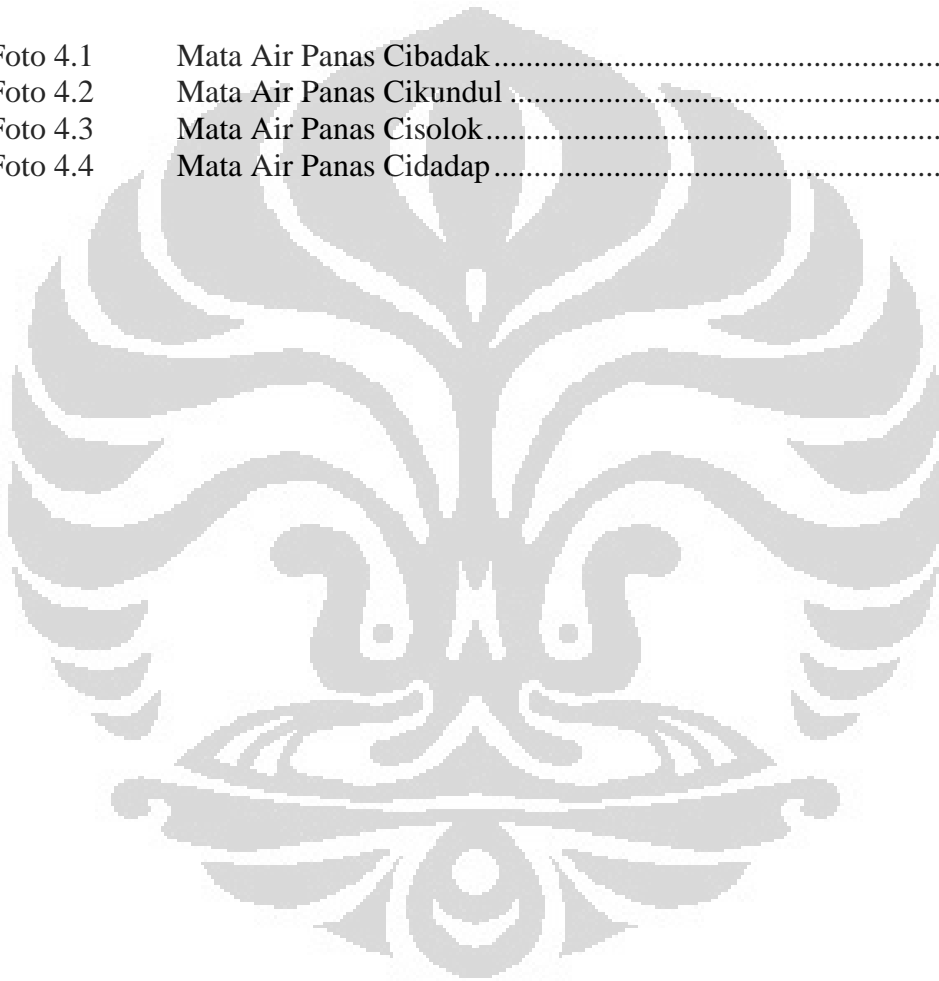
Diagram 3.1	Alur Penelitian.....	17
Diagram 4.1	Jenis dan Umur Batuan.....	29
Tabel 2.1	Kecepatan Rambat gelombang Seismik pada Beberapa Batuan.....	9
Tabel 3.1	Form Catatan Sampel Suhu Mata Air Panas.....	19
Tabel 4.1	Sejarah Kegempaan Sukabumi 1900-2010.....	33
Tabel 5.1	Aktivitas Gempa Bumi Tercatat Bulan Juli-November 2011 ..	37
Tabel 5.2	Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 17 Juli.....	42
Tabel 5.3	Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 24 Juli.....	43
Tabel 5.4	Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 19 Agustus.....	44
Tabel 5.5	Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 21 Agustus.....	45
Tabel 5.6	Perbandingan Jarak, Jenis batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 17 Juli 2011.....	46
Tabel 5.7	Perbandingan Jarak, Jenis batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 24 Juli 2011.....	50
Tabel 5.8	Perbandingan Jarak, Jenis batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 19 Agustus 2011.....	53
Tabel 5.9	Perbandingan Jarak, Jenis batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 21 Agustus 2011.....	55

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Perubahan Suhu Mata Air Panas Cibadak.....	39
Grafik 5.2	Perubahan Suhu Mata Air Panas Cikundul	40
Grafik 5.3	Perubahan Suhu Mata Air Panas Cisolok.....	40
Grafik 5.4	Perubahan Suhu Mata Air Panas Cidadap.....	41
Grafik 5.5	Besar Perubahan Suhu Mata Air Panas	57

DAFTAR FOTO

Foto 4.1	Mata Air Panas Cibadak.....	34
Foto 4.2	Mata Air Panas Cikundul	34
Foto 4.3	Mata Air Panas Cisolok.....	35
Foto 4.4	Mata Air Panas Cidadap.....	35



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepulauan Indonesia merupakan sebuah gugus kepulauan yang membentuk *Asia vulkanis* melalui wujud barisan gunung berapi atau busur kepulauan. Gunung berapi sangat mendominasi pemandangan sejumlah besar kepulauan di Indonesia dan menjadikan Indonesia sebagai salah satu wilayah aktif terbesar di dunia dengan jumlah gunung berapi terbanyak. Rangkaian gunung berapi ini berawal dari Sumatra bagian selatan, memanjang ke Gunung Krakatau di Selat Sunda dan kemudian melintasi Jawa, Bali, Lombok, Sumba, Flores sebelum menghilang di Laut Banda. (Forestier, 2007)

Dari segi bentukan awal kepulauan Indonesia, Katili (1973) menyatakan lokasi kepulauan Indonesia sendiri yang berada di wilayah pertemuan antara lempeng pasifik, lempeng India-Australia, dan lempeng Eurasia sehingga menjadikan kepulauan Indonesia sebagai wilayah yang tergolong paling aktif dalam aktivitas pergerakan lempeng. Sementara itu Hamilton (1988) juga menyatakan keberadaan kepulauan Indonesia yang tersusun dari rangkaian gunung berapi tersebut yang menjadikan kepulauan Indonesia sebagai salah satu tempat kegiatan vulkanis dan seismis tertinggi. Hal tersebut yang membuat Indonesia bisa menjadi laboratorium alam dalam upaya memahami peran yang dimainkan oleh kegiatan tektonis melalui proses pengangkatan, pelipatan, penurunan, patahan, dan lain-lain.

Kondisi geologi di Indonesia menurut Naryanto dan Wisyanto (2005), terutama di wilayah barat seperti di Pulau Jawa berasal dari adanya tumbukan lempeng samudera, lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia yang berarah dari barat ke timur. Adanya pengaruh dari tumbukan antar lempeng samudera tersebut yang mempengaruhi banyaknya sesar yang bermunculan. Adapun beberapa pergerakan lempeng ini turut mempengaruhi pergerakan sesar-sesar tersebut, salah satunya sesar Cimandiri yang dialiri oleh Daerah Aliran (DA) Ci Mandiri.

Sementara upaya dalam memprediksi gempa bumi sendiri hingga saat ini belum berhasil dan masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Penelitian terkait dengan prediksi gempa pernah dilakukan oleh Satoh (2005) dengan ditemukannya petunjuk perubahan pada kondisi air tanah dalam berupa suhu yang meningkat drastis hingga 20°-25°C disertai peningkatan pada daya hantar listrik air menjelang dan sesudah terjadinya gempa di Niigata Chuetsu, Jepang pada tahun 2004. Selain itu perubahan pada kondisi air tanah dalam juga terjadi pada gempa di Christchurch, Selandia Baru. Penelitian yang dilakukan pada 300 sumur air tanah dalam sebelum dan sesudah gempa menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada suhu air tanah dalam rentang waktu gempa tersebut terjadi. (Environment Canterbury, 2011)

Sesar Cimandiri tergolong cukup berbahaya jika dilihat dari keberadaannya terhadap kota-kota penting di Pulau Jawa disertai seringnya terjadi gempa bumi yang berasal dari aktivitas di sesar Cimandiri. Terkait dengan kondisi di sesar Cimandiri, keberadaan beberapa sumber mata air panas yang berasal dari air tanah dalam yang mengalami pemanasan geothermal dapat menjadi indikator yang menunjukkan kondisi air tanah dalam di wilayah tersebut. Hal ini dapat menjadi alat bantu dalam melakukan penelitian hubungan antara suhu mata air panas (*hot spring*) terhadap kejadian gempa terutama pada faktor penyimpangan atau fluktuasi suhu yang terjadi.

1.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan berada di daerah non vulkanik sepanjang dan sekitar patahan Cimandiri terutama di beberapa lokasi mata air panas seperti Cisolok, Cidadap, Cikundul, dan Cibadak.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana hubungan antara fluktuasi suhu mata air panas dengan kejadian gempa yang terjadi sehingga dapat diketahui asosiasinya dan dapat menjadi salah satu parameter perkiraan kejadian gempa di masa datang.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

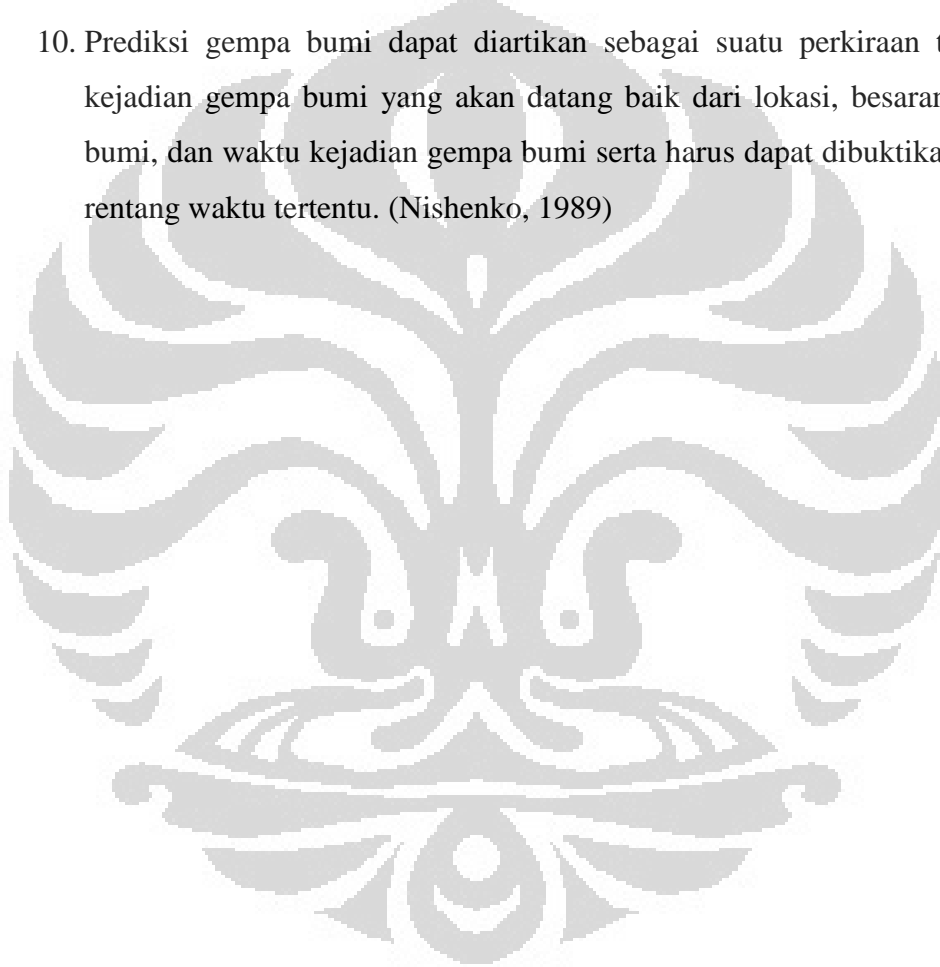
1. Bagaimana fluktuasi yang terjadi pada suhu mata air panas di sesar Cimandiri sebelum dan sesudah kejadian gempa bumi?
2. Adakah asosiasi antara perubahan suhu mata air panas di sesar Cimandiri dengan kejadian gempa tersebut terkait dengan aspek geologi?

1.5 Batasan Penelitian

1. Wilayah penelitian adalah wilayah non vulkanik tepatnya di sepanjang dan sekitar jalur sesar/patahan Cimandiri dengan fokus pada lokasi mata air panas di Cisolok, Cidadap, Cikundul dan Cibadak.
2. Fluktuasi adalah perubahan yang tercatat pada suatu bentuk atau nilai berdasarkan satuan waktu. Fluktuasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah fluktuasi suhu mata air panas.
3. Mata air panas adalah mata air yang dihasilkan akibat adanya aktivitas keluarnya air dari kerak bumi yang mengalami pemanasan secara geothermal.
4. Sesar adalah rekahan yang mengalami pergeseran akibat perubahan posisi sepanjang bidang sesar tersebut. Pergeseran tersebut dapat terjadi saat perubahan posisi terjadi atau setelahnya. (Katili, 1973)
5. Gempa bumi adalah gerakan tiba-tiba di kerak ataupun mantel bumi bagian atas. Gerakan ini dapat diartikan sebagai gerakan akselerasi dengan arah horizontal maupun vertikal yang diakibatkan adanya dorongan, desakan, tumbukan, geseran, atau gesekan antar lempeng. Gempa bumi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah gempa bumi tektonik yang biasa terjadi di wilayah yang dekat dengan sesar atau patahan.
6. Asosiasi adalah menghubungkan antara satu variabel dengan variabel lain yang dianggap memiliki keterkaitan satu sama lain. Asosiasi dalam penelitian ini adalah menghubungkan antara perubahan suhu mata air panas terhadap aspek geologi.
7. Aspek geologi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah tiga faktor geologi yang mempengaruhi aktivitas gempa bumi yaitu jenis batuan, stratigrafi, dan struktur geologi. Jenis batuan yang dimaksud dalam

penelitian ini adalah batuan yang menyusun wilayah penelitian dilakukan. Terdiri dari batuan vulkanik, intrusif, dan batuan endapan.

8. Stratigrafi atau lapisan batuan yang dimaksud dalam penelitian ini adalah susunan lapisan batuan yang ditemukan dan berada di dalam wilayah penelitian untuk kemudian dilakukan analisis.
9. Struktur geologi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah berbagai bentukan geologi yang ada di dalam wilayah penelitian seperti sesar untuk kemudian dimanfaatkan dalam analisis.
10. Prediksi gempa bumi dapat diartikan sebagai suatu perkiraan terhadap kejadian gempa bumi yang akan datang baik dari lokasi, besaran gempa bumi, dan waktu kejadian gempa bumi serta harus dapat dibuktikan dalam rentang waktu tertentu. (Nishenko, 1989)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa bumi

Keberadaan gempa bumi tidak dapat dilepaskan dari adanya aktivitas vulkanik ataupun tektonik yang terjadi pada suatu wilayah. Pada dasarnya, gempa bumi merupakan gerakan tiba-tiba di kerak ataupun mantel bumi bagian atas. Gerakan ini dapat diartikan sebagai gerakan akselerasi dengan arah horizontal maupun vertikal yang diakibatkan adanya dorongan, desakan, tumbukan, geseran, atau gesekan antar lempeng.

Beberapa pengertian terkait gempa bumi telah banyak dikemukakan oleh peneliti. Katili (1973) menyatakan bahwa gempa bumi merupakan bentuk sentakan asli yang berasal dari bumi, yang bersumber dari dalam bumi dengan gaya yang merambat melalui permukaan dan menembus lapisan bumi. Sentakan ini yang kemudian dirasakan oleh manusia di permukaan dan dikatakan sebagai gempa bumi.

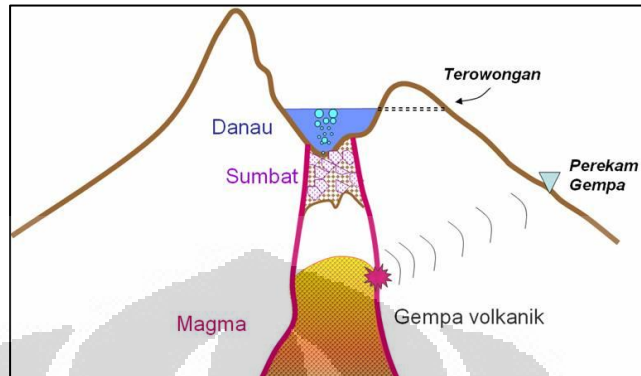
Selain itu, Kanamori (2003) juga menyatakan secara sederhana bahwa gempa bumi merupakan sebuah proses retakan tiba-tiba pada lapisan interior bumi yang menghasilkan getaran hingga dapat dirasakan di permukaan. Secara lebih terperinci, gempa bumi merupakan sebuah proses panjang terjadinya akumulasi dari pergerakan lempeng yang saling menekan. Hasil dari pelepasan akumulasi tersebut yang kemudian dirasakan dan disebut sebagai gempa bumi.

Berdasarkan sumber kejadian gempa, maka kejadian gempa bumi dapat dibagi dalam:

a. Gempa bumi vulkanik

Gempa bumi vulkanik pada umumnya adalah gempa bumi yang biasanya disebabkan oleh adanya aktivitas vulkanis berupa erupsi gunung berapi dengan intensitas gempa bumi yang lemah dan hanya dirasakan di sekitar gunung berapi tersebut seperti dapat terlihat pada gambar 2.1. Gempa bumi vulkanik dapat terjadi baik sebelum, selama ataupun setelah terjadinya erupsi gunung berapi. Penyebab terjadinya gempa bumi vulkanik adalah akibat terjadinya pertemuan antara magma serta gas yang memiliki tekanan besar

terhadap dinding-dinding gunung berapi. Selain itu gempa bumi vulkanik juga dapat terjadi akibat adanya perpindahan mendadak magma di dalam dapur magma.



Gambar 2.1 Ilustrasi Gempa Vulkanik
[Sumber: Ilustrasi Gempa Bumi BMKG]

b. Gempa bumi runtuh

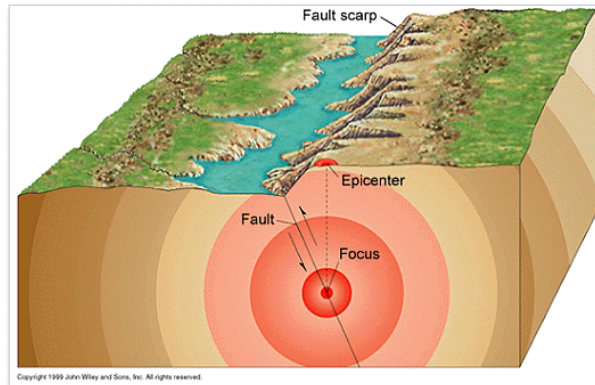
Gempa bumi runtuh seperti terlihat pada gambar 2.2 merupakan jenis gempa bumi yang jarang terjadi dan biasanya terjadi di wilayah yang terdapat runtuh dalam tanah seperti di wilayah dengan batuan dasar kapur ataupun dimana terdapat lapisan garam.



Gambar 2.2 Ilustrasi Gempa Runtuhan
[Sumber: Ilustrasi Gempa Bumi BMKG]

c. Gempa bumi tektonik

Gempa bumi tektonik disebabkan akibat adanya pergeseran tiba-tiba yang memiliki hubungan erat dengan gejala pembentukan pegunungan. Seperti terlihat pada gambar 2.3, gempa bumi tektonik dapat terjadi apabila terbentuk suatu jalur patahan (*fault*) baru, ataupun terjadi pergeseran pada patahan yang sudah ada akibat adanya tekanan yang sangat besar di lempeng bumi.

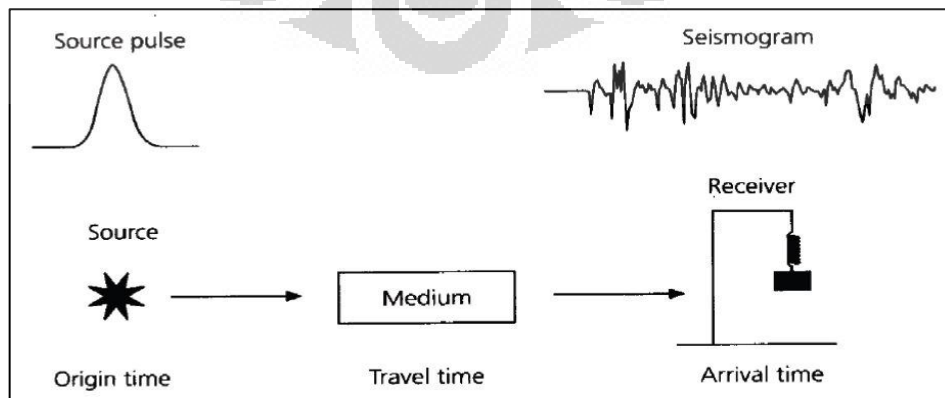


Gambar 2.3 Ilustrasi Gempa Tektonik
[Sumber: Wald, 2001]

2.2 Gelombang Seismik

Keberadaan gempa bumi yang dapat dirasakan oleh manusia ataupun bagaimana kita dapat mengetahui adanya gempa bumi tidak terlepas dari adanya suatu bentuk penjalaran gelombang di dalam lapisan bumi yang disebut sebagai gelombang seismik. Saat gempa bumi terjadi dengan adanya aktivitas antar lempeng di dalam bumi, terjadi deformasi lokal baik berupa tekanan maupun tarikan yang sangat bergantung pada sifat elastisitas batuan. Saat tekanan dan tarikan tersebut sudah melebihi batas kekuatan dari batuan tersebut, maka terciptalah gelombang seismik yang menyebar hingga ke permukaan bumi.

Telford, Geldart, dan Sheriff (1990) menyatakan bahwa gelombang seismik adalah gelombang yang merambat di dalam bumi dan tergantung pada sifat elastisitas batuan sebagai perantaranya. Selain itu, Stein dan Wysession (2003) juga menyatakan selama proses perambatan, gelombang seismik mengalami berbagai proses antara lain pemantulan, penyebaran, ataupun pelemahan hingga kemudian dapat dirasakan oleh manusia seperti terlihat pada gambar 2.4.

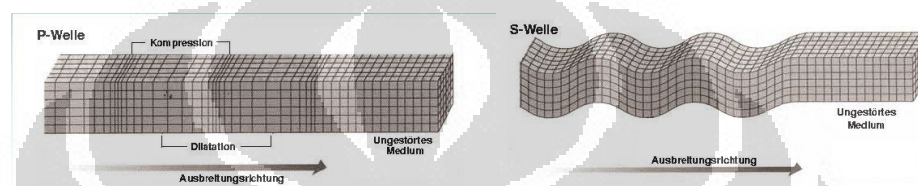


Gambar 2.4 Sumber, Proses, Pergerakan Gelombang Seismik
[Sumber: Stein & Wysession, 2003]

Berdasarkan sumber yang sama, Telford, Geldart, dan Sheriff (1990) juga membagi jenis gelombang seismik menjadi dua jenis berdasarkan medium perambatannya yaitu:

- Gelombang seismik pada lapisan dalam bumi (*body wave*)

Gelombang seismik yang merambat di dalam lapisan bumi (*body wave*) sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu gelombang primer (*P-wave*) dan gelombang sekunder (*S-wave*). Seperti terlihat pada gambar 2.5, gelombang primer adalah gelombang longitudinal sementara gelombang sekunder adalah gelombang transversal.

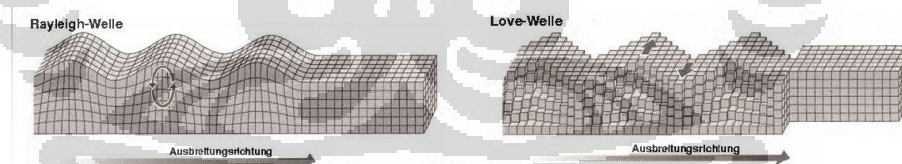


Gambar 2.5 Ilustrasi Gelombang dalam Bumi (*Body Wave*)

[Sumber: *Introduction to Seismology*, P. Shearer]

- Gelombang seismik pada permukaan bumi (*surface wave*)

Gelombang seismik yang merambat pada permukaan bumi sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *rayleigh wave* dan *love wave*. Gambar 2.6 memperlihatkan bagaimana perbedaan bentuk kedua gelombang tersebut yang merambat di permukaan bumi.



Gambar 2.6 Ilustrasi Gelombang Permukaan Bumi (*Shear Wave*)

[Sumber: *Introduction to Seismology*, P. Shearer]

Gelombang seismik di dalam lapisan bumi dapat bergerak melalui batuan sebagai medium penghantarnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya cepat rambat gelombang seismik di dalam lapisan bumi antara lain: (Mavko, 2003)

- Sifat fisik batuan

Sifat fisik batuan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan rambat gelombang seismik. Setiap jenis batuan, seperti terlihat pada tabel 2.1 baik itu batuan beku, batuan sedimen, ataupun batuan vulkanik

memiliki perbedaan dalam kemampuan sebagai medium perambatan gelombang seismik.

Tabel 2.1 Kecepatan Rambat Gelombang Seismik pada Beberapa Batuan

Type of formation	P wave velocity (m/s)	S wave velocity (m/s)	Density (g/cm ³)	Density of constituent crystal (g/cm ³)
Scree, vegetal soil	300-700	100-300	1.7-2.4	-
Dry sands	400-1200	100-500	1.5-1.7	2.65 quartz
Wet sands	1500-2000	400-600	1.9-2.1	2.65 quartz
Saturated shales and clays	1100-2500	200-800	2.0-2.4	-
Marls	2000-3000	750-1500	2.1-2.6	-
Saturated shale and sand sections	1500-2200	500-750	2.1-2.4	-
Porous and saturated sandstones	2000-3500	800-1800	2.1-2.4	2.65 quartz
Limestones	3500-6000	2000-3300	2.4-2.7	2.71 calcite
Chalk	2300-2600	1100-1300	1.8-3.1	2.71 calcite
Salt	4500-5500	2500-3100	2.1-2.3	2.1 halite
Anhydrite	4000-5500	2200-3100	2.9-3.0	-
Dolomite	3500-6500	1900-3600	2.5-2.9	(Ca, Mg) CO ₃ 2.8-2.9
Granite	4500-6000	2500-3300	2.5-2.7	-
Basalt	5000-6000	2800-3400	2.7-3.1	-
Gneiss	4400-5200	2700-3200	2.5-2.7	-
Coal	2200-2700	1000-1400	1.3-1.8	-
Water	1450-1500	-	1.0	-
Ice	3400-3800	1700-1900	0.9	-
Oil	1200-1250	-	0.6-0.9	-

[Sumber: Mavko, 2003]

- **Porositas**
Semakin besar porositas batuan maka akan meningkatkan tekanan dan membuka celah pada bebatuan. Hal ini yang akan memperlambat perambatan gelombang seismik.
- **Tekanan dan Temperatur**
Keberadaan tekanan yang semakin tinggi akan berbanding lurus dengan kecepatan rambat gelombang seismik, sebaliknya terjadi pada perbandingan antara temperatur dan kecepatan rambat gelombang seismik. Hal ini terkait dengan tingkat kekentalan/viskositas medium perantara yang dilalui oleh gelombang seismik tersebut.
- **Medium dalam pori batuan**
Medium di dalam pori batuan dapat berupa cairan atau gas yang biasanya banyak ditemukan di dalam lapisan bumi. Saat gelombang seismik

bergerak menuju medium yang lebih banyak mengandung cairan atau gas, maka kecepatan rambat gelombang tersebut akan terpengaruh. Hal ini terkait dengan adanya perbedaan tekanan pada kedua jenis zat tersebut.

2.3 Prediksi Gempa Bumi

Berdasarkan beberapa literatur yang ada, prediksi gempa bumi dapat dibedakan menjadi dua bentuk, yaitu prediksi (*prediction*) dan perkiraan (*forecast*). Prediksi gempa bumi dapat diartikan sebagai spesifikasi atau kriteria detail tentang magnitudo, lokasi geografis, dan waktu kejadian gempa bumi yang akan terjadi di masa depan dengan ketepatan prediksi yang baik sehingga dapat dievaluasi. Sementara perkiraan (*forecast*) dapat diartikan sebagai upaya dalam mengetahui karakteristik kejadian gempa bumi di masa depan secara lebih luas. (Nishenko, 1989)

Definisi lain terkait dengan prediksi gempa bumi adalah sebagai sebuah pernyataan terhadap gempa bumi yang akan datang, yang dapat mengurangi ketidakjelasan kemungkinan terjadinya gempa bumi yang akan datang. Pernyataan ini harus dapat dibuktikan secara statistik dengan pembuktian dalam jangka waktu tertentu. Pembuktian ini diperlukan untuk memperkuat teori-teori prediksi gempa yang telah ada sebelumnya. (Kagan, 1997)

Aktivitas gempa bumi dapat terjadi dalam sebuah proses yang sangat kompleks, melibatkan banyak sekali faktor seperti zona seismologis dan patahan serta beberapa struktur geologis kompleks yang saling terkait satu sama lain. Semua faktor tersebut perlu mengalami sebuah kejadian kompleks dengan waktu yang tak menentu hingga mampu menciptakan gempa bumi. (Burridge & Knopoff, 1967)

Kejadian kompleks tersebut tidak dapat diketahui kapan terjadinya, walaupun komponen yang dapat memicu telah diketahui seperti besar kecepatan pergerakan lempeng dan arah pergerakannya. Hal ini membuat prediksi gempa bumi menjadi sangat sulit dan hanya dapat dilakukan secara statistik walaupun dengan hasil yang kurang menentu. (Turcotte, 1992)

Pada dasarnya, sebuah pertanyaan ilmiah muncul dalam upaya melakukan prediksi gempa bumi. Sebuah upaya peringatan dini gempa bumi dapat didasari bahwa setiap gempa bumi akan diawali dengan adanya peluruhan lapisan lempeng

yang saling bertemu dan saling melemahkan. Pertanyaannya adalah bagaimana cara untuk memperkirakan besar peluruhan lapisan lempeng tersebut dan kapan waktu peluruhan tersebut dimulai. (Kanamori, 2005)

Prediksi gempa bumi sendiri secara umum banyak dibagi kedalam kategori yang didasarkan oleh waktu prediksi kejadian, yaitu prediksi jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang. Namun secara umum, prediksi gempa bumi hanya dibatasi kedalam prediksi jangka pendek dan jangka panjang. Prediksi gempa bumi jangka panjang didasari oleh teori elastisitas pada lempeng bumi.

Jika sebuah lempeng mengalami tekanan (*stress*) secara konstan, maka energi yang dihasilkan akan terkumpul secara perlahan di bagian lempeng tertentu dan pada saat tertentu akan dilepaskan dalam bentuk gempa bumi. Namun prediksi gempa bumi jangka panjang ini juga menemui hambatan yang sama, yaitu bagaimana menemukan bagian dari suatu lempeng yang mengalami pelemahan paling besar dengan banyaknya faktor lain yang ikut berpengaruh. (Knopoff, 1996)

Sementara prediksi gempa bumi jangka pendek dapat dikatakan sebagai sebuah prediksi atau perkiraan akan kejadian gempa bumi pada suatu tempat yang spesifik merupakan daerah dengan kerawanan gempa bumi yang tinggi dalam jangka waktu pendek. Prediksi ini harus mampu memberikan kemungkinan waktu, tempat, dan besaran magnitudo gempa bumi akan terjadi. Prediksi gempa bumi jangka pendek akan sangat berguna pada suatu daerah dengan tingkat aktivitas yang tinggi, seperti perkotaan padat. (Kanamori, 2003)

Beberapa metode prediksi gempa yang telah ada sampai saat ini masih memerlukan pembuktian lebih lanjut, mengingat kejadian gempa sendiri terjadi secara berkelanjutan dan sangat tersebar. Metode prediksi gempa bumi yang telah ada antara lain:

1. Prediksi VAN

Metode prediksi gempa bumi ini didasari atas penemuan terjadinya perubahan gelombang sinyal listrik di kedalaman tanah oleh tiga orang peneliti yaitu Varotsos, Alexopoulos, dan Nomicos (VAN) di Yunani. Pada tahun 1981, VAN mampu mendeteksi terjadinya perubahan gelombang sinyal listrik di kedalaman tanah pada rentang waktu 7 jam sebelum terjadi gempa

bumi dengan magnitudo $\geq 2,6$ pada jarak sekitar 80 kilometer dari pusat penelitian. (Kagan, 1996)

Pada perkembangan selanjutnya, metode VAN dimodifikasi untuk menambah kemampuan dalam memperkirakan terjadinya gempa bumi dalam waktu yang lebih panjang. Evaluasi yang kemudian dilakukan pada metode VAN menyatakan bahwa metode ini baru dapat dievaluasi kebenarannya pada saat peringatan gempa bumi telah lewat, atau dengan kata lain setelah prediksi dikeluarkan, menunggu kejadian gempa bumi yang diprediksikan, kemudian baru dilakukan evaluasi.

2. Prediksi Parkfield

Prediksi *Parkfield* merupakan prediksi yang dikeluarkan oleh USGS sebagai salah satu metode prediksi gempa bumi lokal di daerah patahan San Andreas, California. Prediksi ini didasarkan dengan menempatkan berbagai instrumen di dalam tanah dan menghasilkan beberapa prediksi bahwa kejadian gempa bumi besar dengan magnitudo ≥ 6 biasa terjadi dengan interval sekitar 22 tahun sekali. (Kagan, 1997)

Gempa terakhir yang tercatat terjadi pada tahun 1966, namun hingga interval waktu yang telah ditentukan oleh metode ini tidak terjadi gempa bumi yang diprediksikan. Jika didasarkan oleh beberapa hipotesis lanjutan, prediksi Parkfield perlu dibuktikan dalam jangka waktu yang lebih panjang sehingga berbagai data seismik dapat dikumpulkan dan diolah lebih lanjut.

3. *Seismic Gaps*

Metode *seismic gaps* merupakan salah satu metode prediksi gempa bumi yang diadopsi oleh USGS untuk memperkirakan terjadinya gempa bumi di daerah California dan sirkum pasifik. Metode ini merupakan pengembangan dari metode *seismic gaps* sebelumnya yang telah dikembangkan oleh Kelleher dengan memberikan probabilitas tambahan pada kejadian gempa bumi di *gap zones*. (Nishenko, 1991)

Metode ini menggunakan asumsi sebagai berikut:

- a. gempa bumi terjadi di patahan yang sudah diketahui, terutama untuk mekanisme dan lokasinya.

- b. gempa bumi besar merupakan akumulasi, jika sudah terjadi maka kemungkinan terjadinya gempa bumi besar kemudian akan lebih kecil.
- c. setiap patahan memiliki karakteristik gempa bumi tersendiri sehingga akan sulit untuk diprediksi.

Kelemahan metode ini adalah sama dengan prediksi Parkfield, yakni prediksi hanya dapat dilakukan pada wilayah yang relatif kecil, dan pembuktian prediksi ini masih memerlukan waktu yang lebih lama untuk dievaluasi.

2.4 Mata air panas

Menurut Todd (1980), mata air adalah pemusatan keluarnya air tanah yang muncul di permukaan tanah sebagai arus dari aliran air tanah. Keberadaan mata air sendiri dapat muncul di wilayah yang memiliki retakan-retakan ataupun celah yang mampu memberikan jalan bagi aliran air tanah untuk dapat naik ke permukaan. Lebih lanjut, keberadaan mata air di permukaan bumi dapat diklasifikasikan kedalam dua jenis dengan gravitasi sebagai faktor utama, yaitu:

- a. Mata air yang dihasilkan tenaga non gravitasi (*non gravitational spring*)
Mata air yang dihasilkan oleh tenaga non gravitasi muncul sebagai akibat adanya aktivitas selain gravitasi meliputi mata air vulkanik, mata air celah, dan mata air panas.
- b. Mata air yang dihasilkan tenaga gravitasi (*gravitational spring*)
Mata air yang dihasilkan oleh tenaga gravitasi sendiri dapat dikategorikan menjadi:
 - Mata air depresi
 - Mata air artesis
 - Mata air kontak
 - Mata air turbuler

Pergerakan air tanah di berbagai tempat akan mengakibatkan air tanah keluar ke permukaan bumi sebagai mata air (*spring*) ataupun rembesan (*seepage*) dengan debit yang bervariasi. Kemunculan mata air ini dipermukaan bumi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik dan persebaran mata air antara lain perubahan morfologi lereng, proses geomorfologis, jenis batuan, dan struktur geologis penyusunnya. (Santosa, 2006)

Perubahan morfologi yang ditandai oleh adanya tekuk lereng atau pemotongan topografi, akan menyebabkan pemunculan aliran air tanah dari dalam akuifer ke

permukaan bumi, baik secara terpusat maupun rembesan. Perlapisan antara batuan yang bersifat porous, seperti bahan-bahan piroklastis atau bahan-bahan aluvium di bagian atas, dengan batuan yang bersifat kedap air, seperti batuan beku di bagian bawah yang relatif kompak, juga akan menyebabkan mengalirnya air tanah melalui batas perlapisan tersebut, dan muncul sebagai mata air kontak.

Demikian juga kedudukan antara satu perlapisan batuan dengan perlapisan yang lain, dan struktur geologis yang menyusunnya, seperti patahan, retakan, maupun perlipatan, merupakan faktor lain pengontrol pemunculan dan pola sebaran mata air. Kategori mata air panas didapatkan dari besaran suhu air yang ada di mata air tersebut terhadap suhu di sekitarnya. Berdasarkan suhunya, mata air dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Mata air dingin (*cold springs*) yaitu mata air yang berasal dari pencairan gunung atau gletser.
- b. Mata air biasa (*nonthermal springs*) yaitu mata air dengan suhu lebih dingin dibandingkan suhu di sekitarnya.
- c. Mata air panas (*thermal/hot springs*) yaitu mata air dengan suhu lebih panas dibandingkan dengan suhu di sekitarnya.

2.5 Sesar Ci Mandiri

Keberadaan sesar Ci Mandiri tidak dapat dilepaskan dari adanya Daerah Aliran (DA) Ci Mandiri yang berada di atasnya. Aliran Ci Mandiri sendiri memiliki banyak percabangan dengan berbagai pola sungai yang terbentuk disepanjang alirannya. Ciri stratigrafi wilayah sesar Ci Mandiri sudah tidak tersusun secara paralel namun telah berbentuk lapisan yang saling menyudut dengan bentukan yang sudah tidak beraturan (*uncoformity*). Bentuk ini menjadi salah satu ciri yang menandakan bahwa terdapat aktifitas gaya endogen yang sangat tinggi. Bentuk tersebut juga ditandai dengan munculnya banyak mata air panas (*thermal/hot springs*). (Supriatna, 2009)

Sesar Ci Mandiri merupakan sesar aktif yang dibagi menjadi 5 segmen, mulai dari Pelabuhan Ratu sampai Gandasoli. Ke lima segmen tersebut antara lain segmen sesar Cimandiri Pelabuhan Ratu-Citarik, Citarik-Cadasmalang, Ciceureum-Cirampo, Cirampo-Pangleseran, dan Pangleseran-Gandasoli. Sementara potensi kegempaan yang ditimbulkan oleh keberadaan sesar Ci

Mandiri tergolong besar mengingat catatan-catatan gempa yang terjadi di wilayah sekitarnya dengan pusat gempa yang berada di sesar Ci Mandiri tersebut seperti kejadian gempa di Pelabuhan Ratu (1900), gempa bumi Cibadak (1973), gempa bumi Gandasoli (1982), gempa bumi Padalarang (1910), gempa bumi Tanjungsari (1972) dan gempa bumi Conggeang (1948) serta Kab Sukabumi (2001). (Supartoyo *et al*, 2006)

2.6 Penelitian Terdahulu

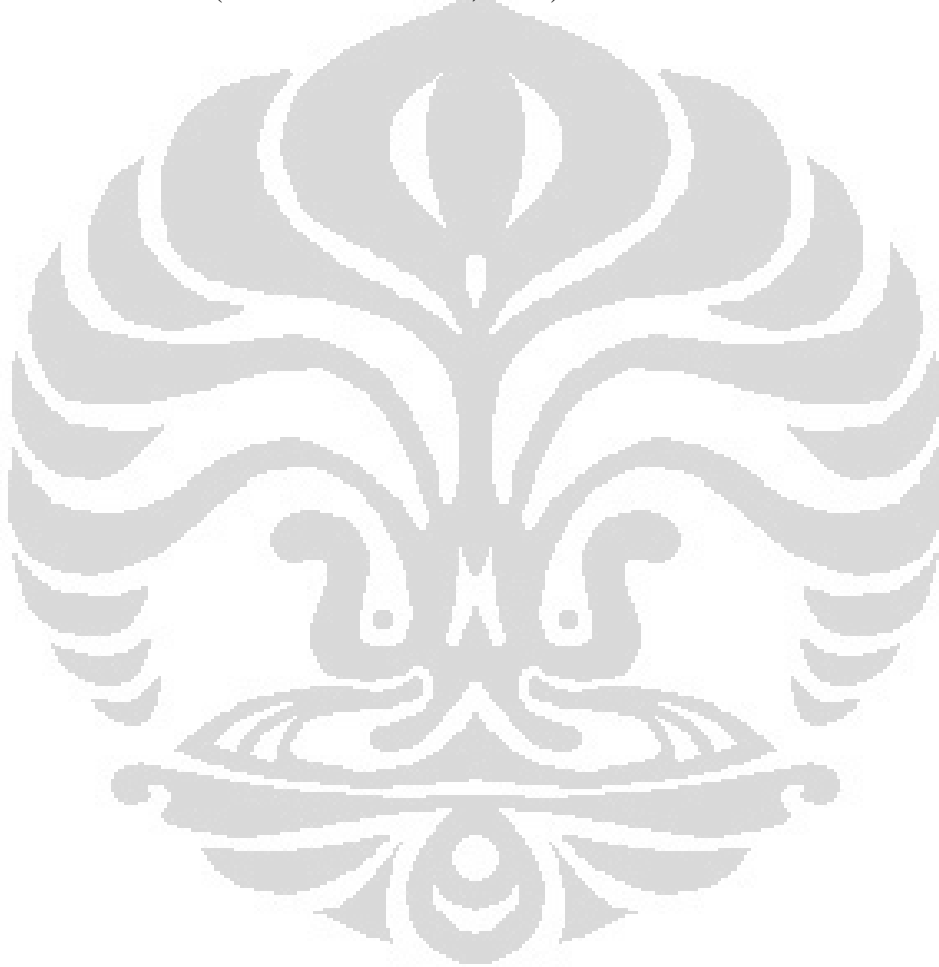
Beberapa penelitian telah dilakukan dalam mencari fakta yang dapat memberikan gambaran bagaimana perubahan suhu mata air panas terhadap kejadian gempa bumi. Penelitian pertama dilakukan oleh Satoh (2005) berdasarkan gempa bumi yang terjadi di wilayah Niigata Chuetsu, Jepang pada tanggal 23 Oktober 2004 dengan karakteristik gempa yang berasal dari jalur patahan utama Shibata-Koide di prefektur Niigata. Pada kejadian gempa tersebut, Satoh menyatakan bahwa gempa bumi telah memberikan pengaruh yang besar terhadap tiga variabel utama yaitu suhu, daya hantar listrik, dan kandungan kimia.

Secara garis besar, terjadi peningkatan suhu hingga 20°C di lokasi patahan utama Shibata-Koide tersebut dan peningkatan hingga 25°C pada beberapa lokasi sumur air tanah dalam lain di sekitar patahan. Sementara pada wilayah selatan dari lokasi patahan terjadi anomali perubahan suhu air tanah dalam yang sangat drastis. Penelitian yang dilakukan berdasarkan kejadian ini menyimpulkan bahwa anomali perubahan suhu serta kondisi kimia di air tanah dalam sekitar lokasi gempa bumi memiliki keterkaitan dengan kejadian gempa tersebut. Anomali ini terjadi akibat adanya aliran air yang terpanaskan secara geothermal menuju lapisan dekat permukaan di sekitar patahan yang terbentuk akibat gempa tersebut. Air yang telah dipanaskan secara geothermal tersebut kemudian bercampur dengan air tanah dangkal yang membuatnya mengalami kenaikan suhu seperti yang terukur.

Sementara penelitian kedua dilakukan di mata air panas Dogo, Jepang memperlihatkan banyak terjadi aktivitas gempa bumi yang berasal dari jalur patahan Nankai. Selama masa penelitian dengan data yang dikumpulkan semenjak terjadinya gempa bumi Nankai tahun 1946 hingga tahun 2006 diketahui telah terjadi setidaknya delapan hingga sembilan gempa bumi besar. Hasil pencatatan

memperlihatkan adanya perubahan baik pada kecepatan aliran air pada mata air panas Dogo juga pada suhu air yang dikeluarkan.

Diketahui pula bahwa telah terjadi sembilan kali kenaikan tinggi muka air tanah dan kecepatan aliran air pada mata air panas setelah terjadinya aktivitas gempa bumi dalam kurun waktu tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kaitan antara kejadian gempa bumi atau aktivitas seismik terhadap perubahan pada air tanah dalam serta aliran mata air panas walaupun hasil tersebut masih dikatakan relatif. (Satoshi & Koizumi, 2007)



BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Pendekatan

Penelitian dilakukan dengan melakukan analisis serta mencari asosiasi antara variabel-variabel penelitian yang digunakan yaitu data suhu mata air panas serta data kejadian gempa serta intensitas gempa yang terjadi selama kurun waktu penelitian di wilayah sekitar sesar Cimandiri. Alur penelitian yang dilakukan di dalam penelitian ini dapat terlihat pada diagram 3.1 berikut.

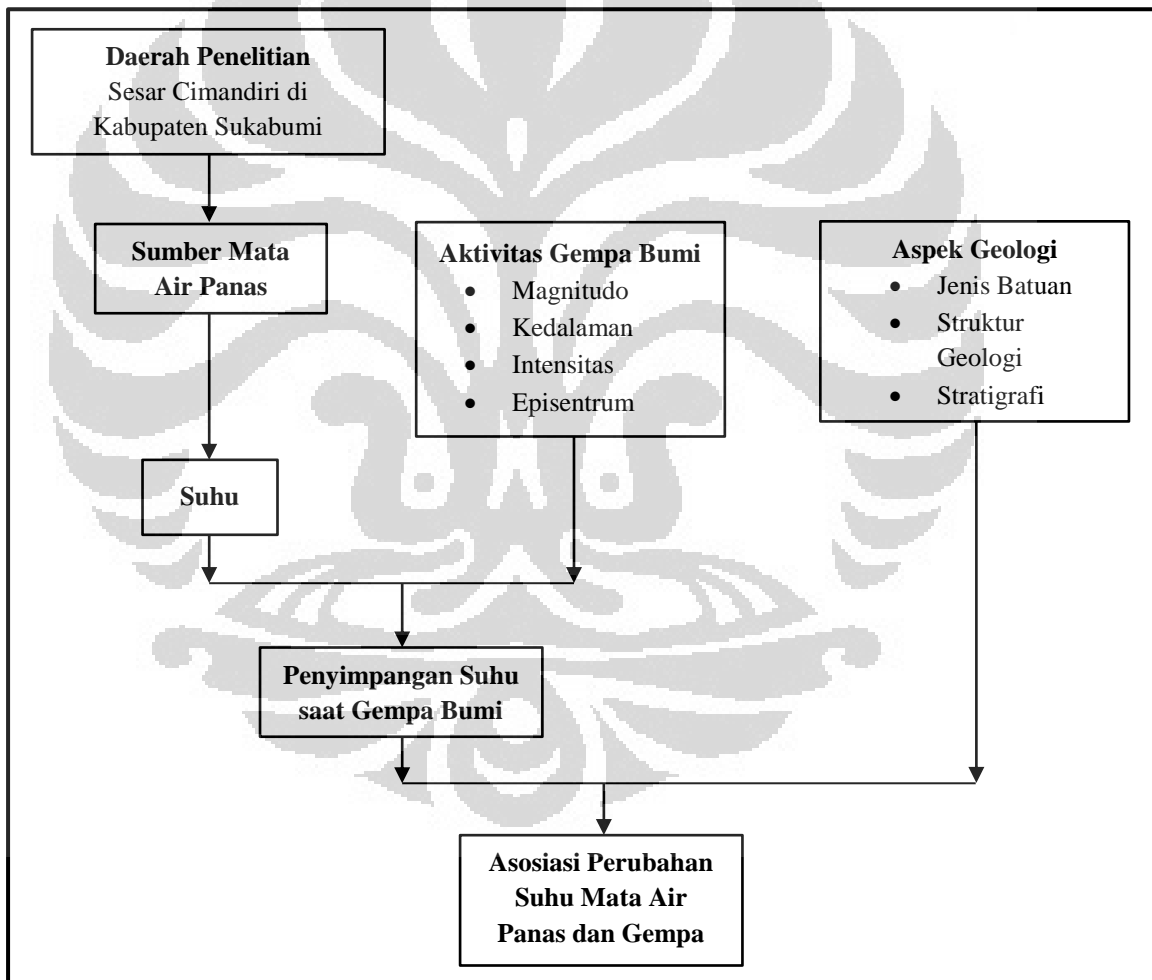


Diagram 3.1 Alur Penelitian

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data suhu berupa nilai penyimpangan yang terjadi di lokasi mata air panas sebelum dan setelah terjadinya gempa bumi yang tercatat selama kurun waktu penelitian pada bulan Juli-September 2011.
2. Data kejadian, lokasi, serta intensitas gempa bumi di wilayah sekitar sesar Ci Mandiri sebagai daerah penelitian selama kurun waktu penelitian pada bulan Juni-Oktober 2011.
3. Data kondisi geologi daerah penelitian berupa jenis batuan, stratigrafi dan struktur geologi.

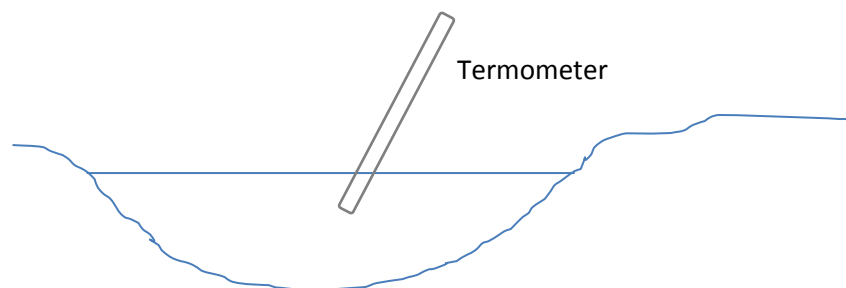
3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data Primer

Pengambilan suhu mata air panas per hari selama kurun waktu penelitian pada bulan Juli-September 2011. Pengambilan suhu mata air panas dilakukan dengan cara:

- Melakukan survei langsung di lokasi mata air panas
- Menetapkan koordinat lokasi pengambilan sampel mata air panas dengan bantuan GPS.
- Mempersiapkan termometer untuk mengukur suhu mata air panas. Pengambilan suhu dilakukan pada lokasi mata air panas yang tidak mengalir berupa kolam ataupun genangan.
- Melakukan pengambilan sampel suhu sebanyak tiga kali selama 2 menit pada waktu yang ditentukan, antara pukul 07.00-08.00 kemudian dicatat dalam form catatan suhu seperti pada tabel 3.1.



Tabel 3.1 Form Catatan Sampel Suhu Mata Air Panas

No.	Tanggal Pengambilan Sampel	Waktu Pengambilan	T°C (1)	T°C (2)	T°C (3)
1.	9 Juli 2011	07.00-08.00			
2.	10 Juli 2011	07.00-08.00			
3.	11 Juli 2011	07.00-08.00			
...	...	07.00-08.00			
...	...	07.00-08.00			
...	...	07.00-08.00			
91.	9 Oktober 2011	07.00-08.00			

- Pengukuran suhu harian berikutnya dilakukan dengan bantuan petugas di lokasi serta penduduk lokal di bawah bimbingan dalam melakukan pengukuran
- Pemeriksaan lapang dilakukan dalam kurun waktu \pm 3 minggu setelah pemeriksaan terakhir.

2. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dengan melakukan pengumpulan sumber berupa:

- a. Peta dasar Rupa Bumi Indonesia (RBI) Bakosurtanal daerah Pelabuhan Ratu, Cisolok, Cibadak, dan Sukabumi skala 1:25.000
- b. Peta Geologi tinjau daerah Bogor, Jampang, dan Leuwidamar skala 1:100.000
- c. Data kejadian dan intensitas gempa bumi dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pengolahan data geologi

Pengolahan data geologi dilakukan untuk mengetahui jenis batuan, stratigrafi, dan struktur geologi apa yang memiliki kaitan terhadap kejadian gempa bumi. Pengolahan dilakukan pada tiga informasi geologi dasar yaitu jenis batuan, stratigrafi, dan struktur geologi sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh masing-masing informasi geologi tersebut terhadap aktivitas gempa bumi serta didasarkan atas cepat rambat gelombang seismik di dalam setiap jenis batuan

2. Pengolahan data tabular

Data penelitian yang tergolong ke dalam data tabular antara lain data kejadian gempa bumi, lokasi, dan intensitas serta kekuatan (magnitudo) gempa bumi. Pengolahan yang dilakukan berupa seleksi terhadap data kejadian gempa bumi yang berada di sekitar daerah penelitian selama tahun 2011. Pengolahan data intensitas dan kekuatan gempa bumi dilakukan dengan melakukan seleksi terhadap besarnya intensitas gempa bumi yang terjadi di daerah penelitian dengan tingkat kerusakan di atas 3 skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) serta besaran kekuatan (magnitudo) gempa bumi dengan tingkat di atas 2 skala Richter.

3. Pengolahan statistik

Pengolahan statistik digunakan dalam mengolah data suhu mata air panas sehingga dapat diketahui dan besar penyimpangan suhu yang terjadi terhadap perubahan suhu normal mata air panas selama penelitian berlangsung. Beberapa tahap pengolahan statistik antara lain:

- Penentuan suhu normal dengan mendapatkan nilai standar deviasi dari setiap mata air panas. Perubahan suhu dapat dikatakan normal apabila berada dalam jangkauan nilai standar deviasi tersebut.
- Penentuan nilai perubahan suhu (ΔT) dilakukan dengan mendapatkan selisih suhu antara hari pertama dengan hari kedua dan seterusnya.
- Penentuan nilai perubahan terhadap nilai deviasi (ΔT Deviasi/ ΔTD) dilakukan dengan mendapatkan selisih antara nilai perubahan suhu (ΔT) dan nilai standar deviasi.

4. Pengolahan Peta

Pengolahan peta dapat dilakukan setelah data-data sekunder dapat dikumpulkan dan dilakukan analisa. Beberapa pengolahan peta yang dilakukan antara lain:

- Peta Administrasi

Pengolahan peta administrasi sebagai peta dasar penelitian yang menunjukkan batasan daerah penelitian dilakukan dengan melakukan

pengolahan pada peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal.

- Peta Geologi

Pengolahan peta geologi yang dilakukan bersumber pada peta geologi skala 1:100.000 lembar Bogor, Jampang, dan Leuwidamar. Pengolahan peta geologi akan menghasilkan beberapa peta hasil baru yaitu peta struktur geologi dan peta jenis batuan di daerah penelitian.

- Peta kejadian dan kekuatan gempa bumi

Pengolahan peta kejadian dan kekuatan gempa bumi didasarkan atas hasil pengolahan data tabuler kejadian gempa bumi di daerah penelitian sehingga dapat diketahui persebaran kejadian gempa bumi di daerah penelitian.

3.5 Analisis Data

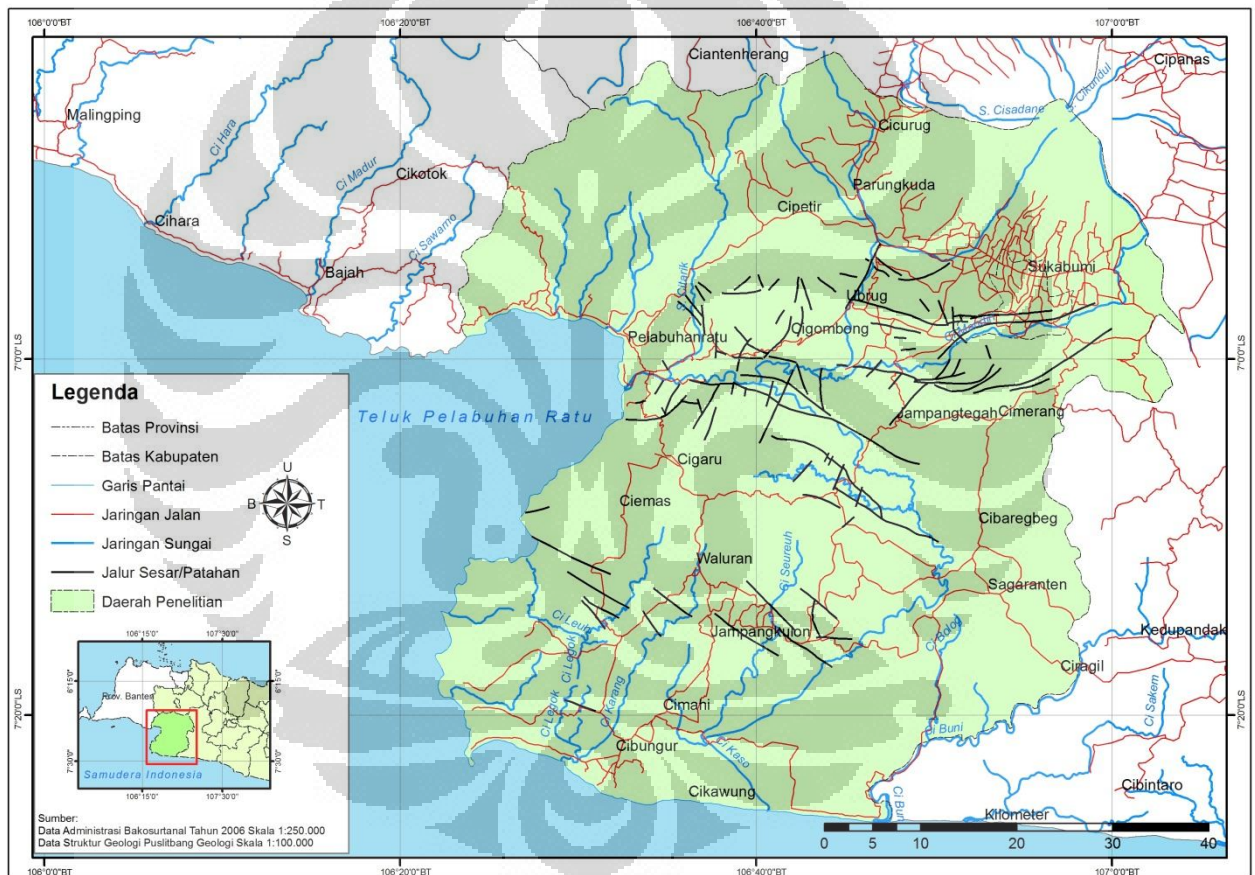
Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi untuk mendapatkan jawaban dari dua pertanyaan masalah yang diberikan. Untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada suhu mata air panas, dilakukan dengan membandingkan suhu normal terhadap nilai deviasi suhu. Perubahan suhu yang berada diluar batas nilai deviasi akan menunjukkan pengaruh terhadap aktivitas gempa bumi. Analisis ini akan memperlihatkan kapan perubahan suhu mulai terlihat. Sementara besar perubahan suhu yang terjadi dapat di ketahui dengan menganalisis nilai ΔT Deviasi.

Untuk mengetahui bagaimana asosiasi perubahan suhu mata air panas tersebut terhadap kejadian gempa, dilakukan analisis dengan membandingkannya pada aspek geologi, terutama pada jenis batuan, stratigrafi, dan struktur geologi. Selain itu, analisis juga dilakukan dengan mempertimbangkan pada faktor cepat rambat gelombang seismik (V_p) yang berbeda-beda dari setiap jenis batuan. Analisis ini akan memperlihatkan seberapa besar pengaruh antara aspek geologis terhadap perubahan suhu mata air panas.

BAB IV GAMBARAN UMUM WILAYAH

4.1 Letak dan Administrasi

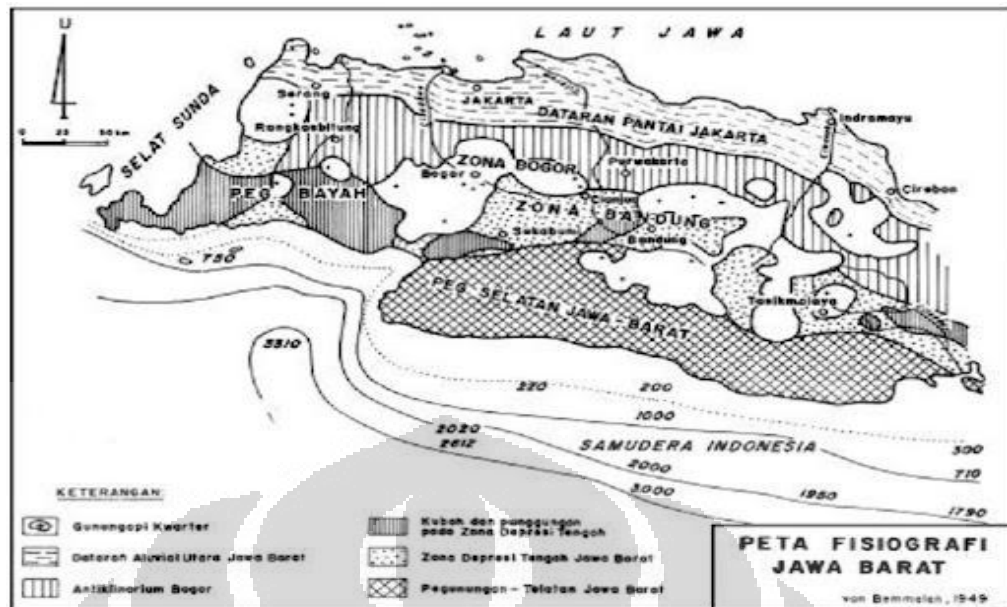
Daerah penelitian yaitu sesar Cimandiri secara administratif berada di Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis, wilayah penelitian terletak di $106^{\circ}45'50''$ - $106^{\circ}45'10''$ Bujur Timur dan $6^{\circ}49'29''$ - $6^{\circ}50'44''$ Lintang Selatan. Gambaran daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Daerah Penelitian
[Sumber: Pengolahan Data Survey Lapang 2011]

4.2 Fisiografi

Fisiografi daerah penelitian tidak dapat terlepas dari kondisi fisik sekitar yang merupakan perpaduan dari adanya aktivitas tektonik dan vulkanik. Daerah penelitian merupakan bagian dari bentukan alami yang tergolong ke dalam fisiografi jawa bagian zona selatan seperti terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Zonasi Fisiografi Jawa bagian Barat

[Sumber: Bemmelen, 1949]

Wilayah Jawa terutama bagian barat sendiri dapat dizonasi kedalam 4 kategori sebagai berikut (Bemmelen, 1949):

1. Zona Jakarta (Pantai Utara)

Zona Jakarta merupakan bagian yang tersusun atas endapan alluvial sebagai hasil dari proses pengangkutan oleh sungai-sungai yang mengalir menuju utara Pulau Jawa. Endapan ini sebagian besar berasal dari beberapa pegunungan vulkanik seperti Gunung Tangkuban Perahu, Gunung Gede dan Gunung Pangrango.

2. Zona Bogor

Zona Bogor membentang mulai dari wilayah Rangkasbitung di sebelah barat hingga Majalengka. Keberadaan zona Bogor ini lebih didominasi oleh banyaknya perbukitan lipatan dan dengan berbagai bentukan hasil pengaruh vulkanik pada beberapa wilayah yang berdekatan dengan keberadaan aktivitas tersebut, seperti di Gunung Parang dan Gunung Sanggabuana di Purwakarta. Keberadaan zona Bogor ini dibatasi hingga jalur pegunungan di zona Bandung seperti Gunung Ciremai dan Gunung Tampomas.

3. Zona Bandung

Secara garis besar, zona Bandung merupakan daerah gunung api tetapi jika dibandingkan dengan zona lain di wilayah Jawa bagian barat, zona ini

merupakan zona depresi. Zona Bandung sebagian besar diisi oleh endapan vulkanik muda dari beberapa gunung api di sekitarnya. Zona Bandung sendiri terdiri atas beberapa depresi yaitu depresi Cianjur-Sukabumi, depresi Bandung, depresi Garut, dan depresi Ci Tanduy.

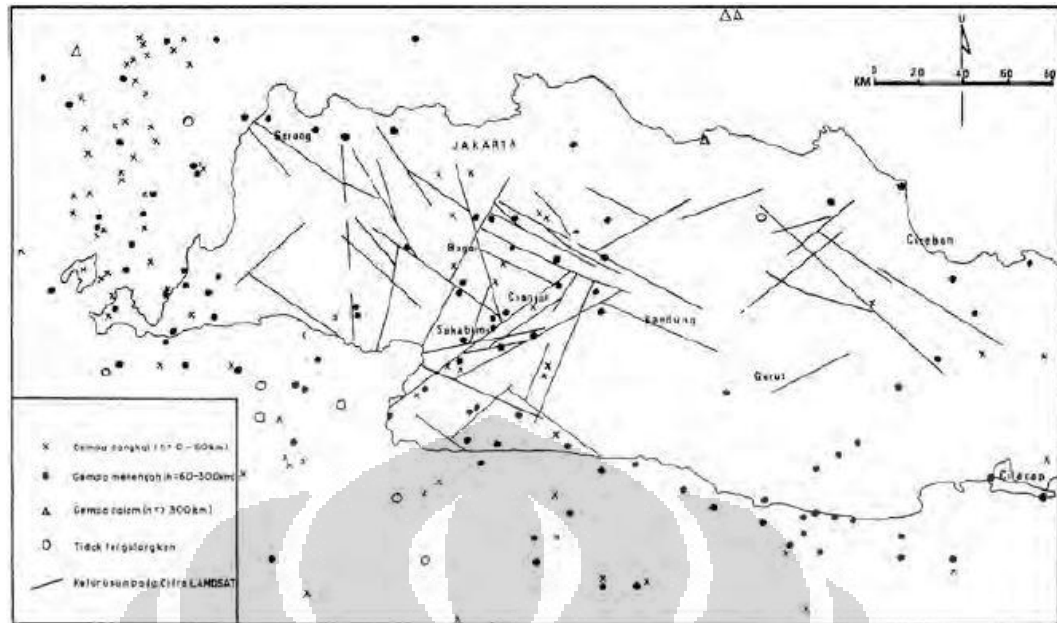
4. Zona Pegunungan Selatan

Zona pegunungan selatan terbentang mulai dari Teluk Pelabuhan Ratu hingga Pulau Nusa Kambangan di Jawa Tengah. Zona pegunungan selatan mengalami banyak sekali aktivitas geologis diantaranya pengangkatan, pelipatan, dan penurunan. Pegunungan selatan dapat terlihat sebagai sebuah plato dengan permukaan batuan yang kemudian mengalami banyak aktivitas sehingga menyisakan permukaan yang tidak sama seperti plato lagi. Beberapa plato yang masih dapat diidentifikasi di dalam zona pegunungan selatan ini antara lain Plato Jampang, Plato Pangalengan dan Plato Karangnunggal.

4.3 Struktur Geologi

Berdasarkan penelitian Suwijanto (1978) diketahui bahwa struktur geologi di daerah penelitian memiliki beberapa jenis arah kelurusan. Studi tersebut dilakukan dengan memanfaatkan citra Landsat serta menghubungkannya dengan sejarah aktivitas gempa bumi di daerah penelitian. Temuan tersebut memperlihatkan alasan mengapa wilayah penelitian digolongkan ke dalam salah satu wilayah geologi paling aktif di Jawa.

Pada penelitian lain, Supartoyo (2008) dengan didasarkan atas beberapa data pengeboran migas, menyatakan bahwa terdapat tiga jenis pola kelurusan struktur yang dominan di Pulau Jawa, yaitu pola Meratus dengan arah timur laut-barat daya, pola Sunda dengan arah utara-selatan, dan pola Jawa dengan arah barat-timur. Pola kelurusan ini dapat terlihat pada gambar 4.3 yang secara umum menampilkan arah kelurusan sesar Cimandiri sebagai sesar utama di wilayah penelitian memiliki arah kelurusan barat daya-timur laut. Sementara pada penelitian lain diketahui bahwa keberadaan sesar Cimandiri sendiri dapat ditemukan membentang dari Teluk Pelabuhan Ratu hingga daerah sekitar Padalarang-Cipatat, Bandung. (Anugrahadi, 1993)



Gambar 4.3 Struktur Geologi Wilayah Jawa Barat
[Sumber: Suwijanto, 1978]

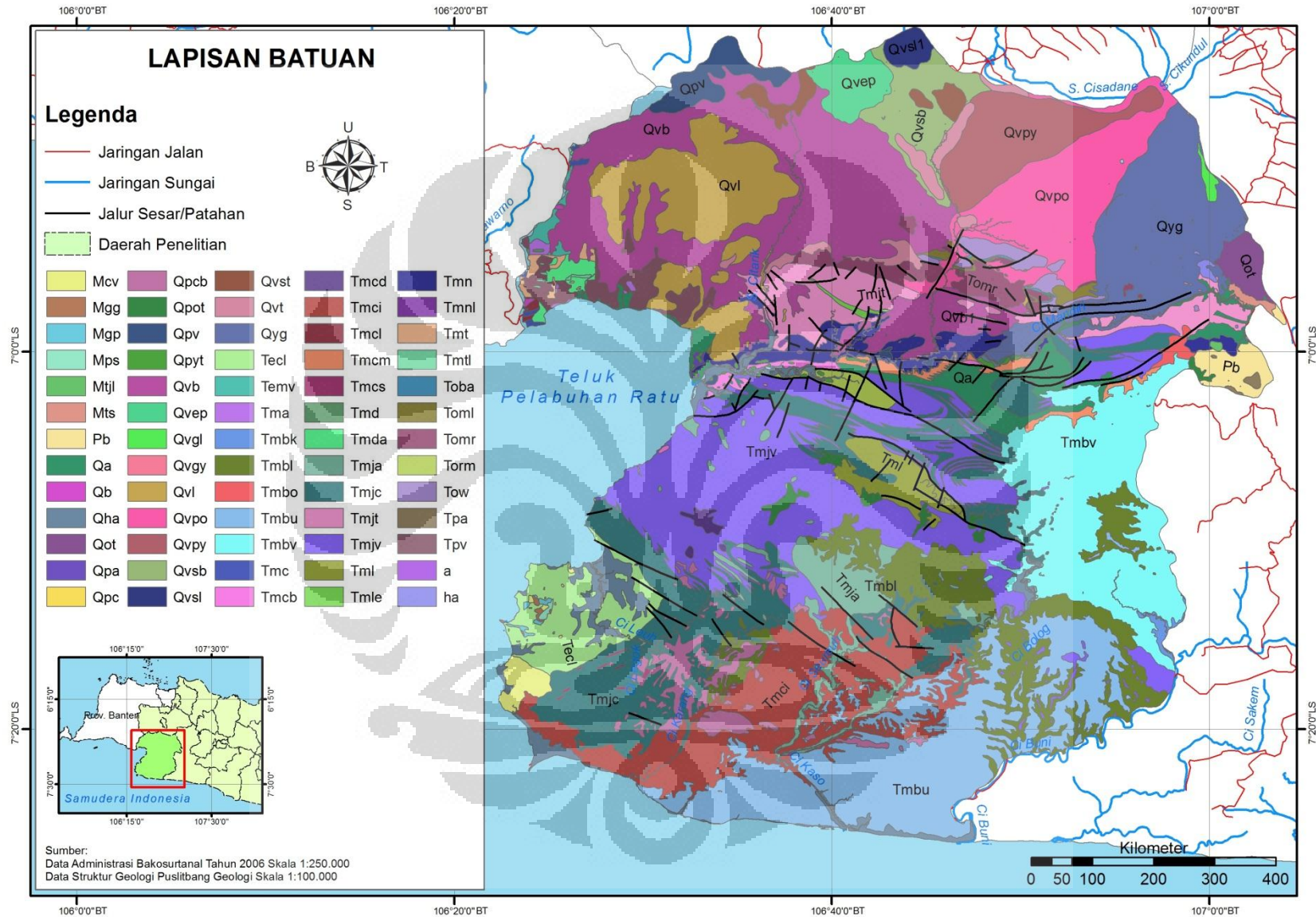
Sementara pada tahun 1991 dalam penelitian yang dilakukan oleh Noeradi, pengukuran unsur penyerta sesar Cimandiri menunjukkan bahwa sesar ini memiliki orientasi tegasan utama dengan arah $N 20^{\circ}-25^{\circ}E$ pada masa kenozoikum. (Noeradi, Villemin, & Rampnoux, 1991) Pada penelitian tersebut juga dikemukakan jenis sesar Cimandiri adalah sesar mendatar mengiri (*sinistral strike slip fault*).

4.4 Lapisan Batuan

Susunan lapisan batuan di daerah penelitian terdiri atas beberapa formasi batuan yang terbagi atas satuan umur batuan tersebut. Persebaran susunan stratigrafi daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 4.4. Beberapa urutan satuan batuan dari umur tua ke muda antara lain (Supartoyo, 2008):

- Formasi Ciletuh

Formasi Ciletuh (Tecl) terdapat di Teluk Ciletuh, Pelabuhan Ratu, dan Sukabumi. Formasi ini terdiri atas endapan turbidit distal berupa serpih warna abu-abu tua, berlapis tipis, berselingan dengan batu pasir kuarsa dan sisipan *graywacke*. Umur dari formasi Ciletuh diperkirakan berasal dari masa Eosen awal sampai Oligosen awal dan mengalami pengendapan di lingkungan laut dalam yang berangsur ke lingkungan laut dangkal di bagian atas.



Gambar 4.4 Lapisan Batuan
[Sumber: Pengolahan Data Geologi]

- **Formasi Walat**
Formasi Walat (Tow) tersingkap di daerah Gunung Walat sekitar Cibadak dan sekitarnya. Formasi ini terdiri atas susunan batu pasir kuarsa berlapis, konglomerat kuarsa dengan fragmen ukuran kerakal, batu lempung karbonat, lignit dan lapisan tipis batubara. Semakin ke atas ukuran butir semakin bertambah kasar dengan perkiraan umur batuan berasal dari masa Oligosen awal. Ketebalan lapisan ini diperkirakan mencapai 1000 m.
- **Formasi Batuasih**
Formasi Batuasih (Toba) terdiri atas lapisan-lapisan batu lempung napalan hijau dengan konkresi pirit, serta mengandung beberapa foraminifera besar dan kecil. Formasi ini diduga berasal dari masa Oligosen akhir dengan ketebalan sekitar 75-200 m.
- **Formasi Rajamandala**
Formasi Rajamandala (Torm, Tomr) pada umumnya terdiri atas lapisan batu gamping putih dan putih kecoklatan dengan morfologi yang didominasi oleh lereng terjal yang lebih resisten terhadap batuan di sekitarnya. Umur formasi ini diperkirakan berasal dari masa Miosen awal.
- **Formasi Jampang**
Keberadaan Formasi Jampang (Tmjv) cukup dikenal dengan banyaknya sumber gempa bumi yang terjadi berasal dari susunan formasi Jampang ini. Formasi Jampang sendiri merupakan ciri khas dari sedimen Pegunungan Selatan Jawa Barat, dengan ciri utama yaitu berupa endapan vulkanik. Perkiraan umur Formasi Jampang berasal dari masa Miosen bawah dengan ketebalan sekitar 5000 m. Keberadaan Formasi Jampang sendiri terletak di atas Formasi Rajamandala.
- **Formasi Bantargadung**
Formasi Bantargadung (Tmn) terletak di sekitar Cigadung dengan nama asalnya berupa Formasi Nyalindung. Formasi Bantargadung tersusun atas lapisan antara batu lempung dengan batu pasir tufa, serta kombinasi antara batu lempung dan *graywake* mineral kuarsa. Formasi Bantargadung berada tersebar di sekitar lembah Cimandiri hingga Sukabumi serta Purwakarta. Formasi Bantargadung di perkiraan berasal dari masa Miosen tengah.

- **Formasi Cimandiri**
Formasi Cimandiri (Tmcm) terdiri dari 3 satuan, yaitu berupa batuan pasir dengan glukonit dan karbon, satuan Nyalindung dengan susunan berupa batu lempung yang mengandung moluska dan satuan Bojonglopang dengan susunan berupa batu gamping, konglomerat dan batuan lempung. Formasi Cimandiri diperkirakan memiliki ketebalan lapisan hingga 800 m dengan perkiraan umur berasal dari masa Miosen tengah.
- **Formasi Cigadung**
Formasi Cigadung merupakan sebuah singkapan yang dapat ditemukan di lembah Cimandiri. Formasi Cigadung sendiri tersusun atas lapisan breksi dan tufa yang diendapkan di dalam lingkungan endapan turbidit dengan perkiraan umur yang berasal dari masa Miosen akhir. Keberadaan formasi ini terletak sejajar di atas Formasi Bantargadung.
- **Formasi Cibodas**
Susunan utama dari Formasi Cibodas (Tmci) adalah berupa batuan gamping, dengan kombinasi tufa dan pasir dan adanya sisipan batu pasir gamping dan batu pasir tufa. Perkiraan umur batuan dari Formasi Cibodas berasal dari masa Miosen atas.
- **Satuan Batuan Bahan Gunung Api**
Keberadaan satuan ini (Qvb, Qvl, Qpv, Qvcp, Qvsl, Qvsb, Qvpy, Qvpo) merupakan campuran lapisan dari beberapa jenis batuan seperti breksi, breksi tuf berbatu apung, endapan lava, dan batuan pasir tufa, konglomerat, serta basalt. Keberadaan satuan ini diperkirakan berasal dari masa Pliosen.
- **Satuan Batuan Kuarter**
Susunan material utama dari satuan batuan ini (Qa, Qyg, Qot) antara lain berupa material lepas dari hasil perombakan bahan material induk seperti kerikil, pasir, lempung, endapan alluvial, endapan pantai, endapan sungai, batu gamping terumbu koral, serta batuan vulkanik berupa breksi dan aliran lava.

4.5 Jenis Batuan

Jenis batuan di daerah penelitian sebagian besar tersusun atas beberapa tipe yaitu endapan vulkanik, batuan breksi, batuan gamping, serta beberapa batuan intrusif. Hal ini banyak disebabkan karena pembentukan awal berasal dari aliran vulkanik barisan pegunungan di bagian utara serta adanya pengangkatan dari dasar laut.

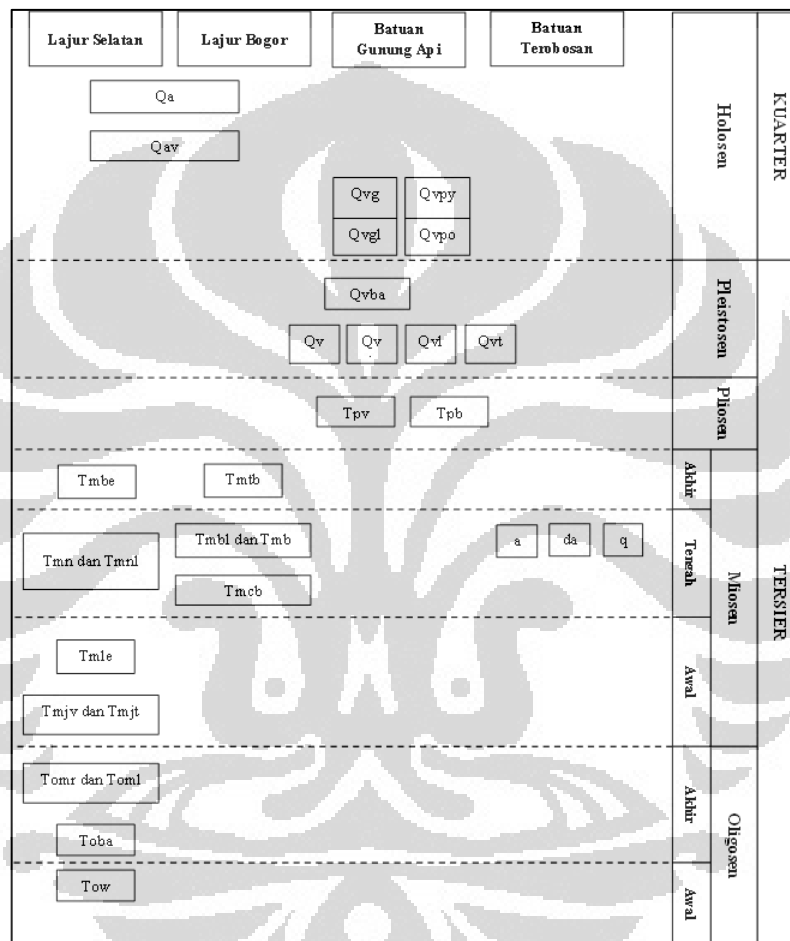


Diagram 4.1 Jenis dan Umur Batuan

Berikut ini adalah beberapa jenis batuan yang berada di daerah penelitian, antara lain:

- Qa dan Qav

Jenis batuan ini tersusun atas endapan lempung, pasir, dan kerikil yang banyak ditemukan di sepanjang aliran sungai dan sepanjang Teluk Pelabuhan Ratu. Sebagian merupakan bentuk endapan yang menjadi kipas alluvium.

- Qvg dan Qvpy
Qvg merupakan jenis batuan yang tersusun dari breksi tufa dan lahar dengan asal dari endapan vulkanik Gunung Gede. Sementara Qvpy merupakan jenis batuan yang dengan susunan yang sama seperti Qvg disertai adanya susunan andesit yang berasal dari endapan vulkanik Gunung Pangrango.
- Qvgl dan Qvpo
Qvgl merupakan jenis batuan yang berasal dari pengerasan aliran lava disertai susunan andesit basal. Sementara Qvpo merupakan jenis batuan yang memiliki kemiripan dengan qvpy tetapi berasal dari umur yang lebih tua.
- Qvba
Qvba merupakan jenis batuan yang berasal dari aliran lava basal dari Gunung Gegerbintang. Jenis batuan ini dapat ditemukan di dekat aliran Ci Mandiri.
- Qvu, Qvb, Qvl, dan Qvt
Keempat batuan ini merupakan jenis batuan gunung api tua yang banyak tersebar di daerah penelitian. Qvu secara garis besar terdiri atas breksi dan aliran lava, terutama andesit. Batuan Qvb banyak tersusun atas breksi dan andesit-basal. Sementara Qvl merupakan jenis batuan dengan susunan utama berupa batuan basal dengan labradorit dan Qvt tersusun atas tuf batu apung.
- Tpv dan Tpb
Tpv merupakan jenis batuan dengan susunan breksi, breksi tuf batu apung, disertai batu pasir. Sementara Tpb merupakan batuan dengan susunan utama breksi, aliran lava, batupasir tufa dan konglomerat andesit-basal.
- Tmbe
Tmbe merupakan batuan dengan susunan utama berupa batupasir tufa dengan kombinasi batuapung dan lignit, serta breksi konglomerat gamping. Batuan ini sendiri banyak disebut sebagai Formasi Bentang.

- Tmtb
Batuan dengan jenis Tmtb banyak tersusun atas lapisan tuf dan breksi dengan susunan andesit serta batu pasir.
- Tmb dan Tmbl
Kedua jenis batuan ini menyusun Formasi Bojongmanik dengan susunan jenis batuan antara lain batu pasir, tuf batuapung, batu gamping, serta batuan lempung.
- Batuan Intrusif (a, da, qd)
Batuan intrusif yang berada di daerah penelitian sebagian besar tersusun atas endapan andesit dengan oligoklas-andesin, dasit, dan diorin.
- Tmn dan Tmnl
Kedua batuan ini merupakan susunan utama dari Formasi Nyalindung dengan jenis batuan terdiri dari batu pasir glokonit gamping, batu lempung, breksi dan batu gamping.
- Tmcb
Batuan Tmcb merupakan bagian dari Formasi Cantayan yang tersusun atas batuan breksi dengan kepingan andesit-basal dan batu gamping koral, serta sisipan batuan pasir.
- Tmle
Tmle merupakan batuan yang menyusun Formasi Lengkong. Batuan ini terdiri atas endapan batu pasir gampingan, dengan kombinasi batuan lempung.
- Tmjv dan Tmjt
Tmjv merupakan jenis batuan penyusun utama dari Formasi Jampang. Batuan ini sebagian besar terdiri atas breksi aliran pejal dengan kombinasi andesit piroksen. Sementara Tmjt merupakan bagian dari Formasi Jampang yang tersusun oleh bagian tuf dan breksi padat.
- Tomr dan Toml
Tomr adalah batuan utama dari Formasi Rajamandala. Batuan ini tersusun atas napal tufa, lempung napal, serta batu pasir. Sementara Toml merupakan jenis batuan yang tersusun oleh batuan gamping serta dolomit.

- Toba
Toba merupakan batuan utama dari Formasi Batuasih. Batuan ini sendiri terusun atas batu lempung dengan konkresi pirit, dan berada diatas Formasi Walat.
- Tow
Tow merupakan batuan utama penyusun Formasi Walat. Batuan ini merupakan batuan tertua di daerah penelitian dengan susunan utama berupa batu pasir kuarsa konglomerat kuarsal kuarsa, serta batu lempung.

4.6 Kegempaan Sesar Cimandiri

Berdasarkan data yang dikumpulkan oleh *United States Geological Survey* (USGS) semenjak tahun 1990 hingga tahun 2011 telah terjadi setidaknya sekitar 283 kali aktivitas gempa bumi dengan variasi besaran magnitudo dari tiga hingga diatas lima Skala Richter. Sebagian besar aktivitas gempa bumi tersebut berasal dari laut dan disekitar patahan Cimandiri. Banyaknya aktivitas gempa yang tercatat memperlihatkan seberapa aktifnya keberadaan patahan di wilayah tersebut.

Sementara jika dilihat dari besar magnitudo gempa bumi yang terjadi, dapat diketahui bahwa aktivitas gempa bumi tersebut tergolong sering terjadi tetapi dengan magnitudo yang tergolong sedang. Hal ini cukup menandakan bahwa daerah ini dapat dikategorikan sebagai daerah aktif akan kejadian gempa bumi. Berdasarkan data katalog gempa bumi di Indonesia, semenjak tahun 1900 telah terjadi setidaknya 13 kali gempa bumi besar yang merusak. Kerusakan yang timbul tersebut banyak berasal dari gempa bumi yang berpusat di darat dengan dugaan berasal dari aktivitas sesar Cimandiri ataupun sesar lain disekitarnya.

Wilayah dengan permukiman padat seperti di Sukabumi maupun Pelabuhanratu dan sepanjang lembah Cimandiri memang memiliki resiko besar dalam menghadapi ancaman gempa bumi, terutama jika dilihat dari aspek geologinya yang secara umum tersusun atas lapisan batuan Kuartar dengan sifat yang lunak. Beberapa aktivitas gempa bumi merusak yang tercatat di wilayah ini dapat terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Sejarah Kegempaan Sukabumi 1900-2010

No.	Nama Gempa	Tanggal Kejadian	Pusat Gempa	Kedalaman	Magnitudo	Skala MMI	Kerusakan
1.	Sukabumi	14/01/1900	-	-	-	VII	Kerusakan bangunan di Sukabumi, getaran terasa di Priangan-Bogor dan Banten
2.	Rajamandala	18/12/1910	-	-	-	V-VI	Kerusakan bangunan berupa retakan dinding di Rajamandala
3.	Campaka	12/01/1912	-	-	-	V-VI	Kerusakan bangunan di Campaka dan Sukabumi
4.	Banten	12/05/1923	7,3°LS 105,8°BT	-	-	VII	Menara air di Pelabuhan Ratu roboh. Getaran terasa hingga Sumsel dan Lampung
5.	Citarik	23/07/1962	7°LS 106,6°BT	33	5	VI	Kerusakan bangunan dan retakan tanah di Citarik
6.	Sukabumi	02/11/1969	6,5°LS 107,1°BT	57	5,4	V	Beberapa bangunan roboh di Sukabumi
7.	Pelabuhan Ratu	26/11/1973	6,8°LS 106,6°BT	62	4,9	V	Retakan tanah dan bangunan di Citarik dan Cidap
8.	Sukabumi	09/02/1975	6,7°LS 106,6°BT	-	-	V	Kerusakan bangunan di desa Cihulang, Cibadak, Sukabumi
9.	Sukabumi	09/08/1977	-	-	-	V-VI	Longsoran tanah di desa Baeud
10.	Sukabumi	10/02/1982	7°LS 106,9°BT	25	5,5	VI-VII	4 korban luka serta kerusakan bangunan di Sukabumi
11.	Sukabumi	12/07/2000	6,9°LS 106,9°BT	33	5,1	VI-VII	35 korban luka serta 365 bangunan rusak berat di Sukaraja, Cibadak, Parakan Salak, Cisaat.
12.	Jampang Kulon	30/09/2006	94km barat daya Sukabumi	32	5,2	IV-V	4 rumah rusak ringan di Jampang Kulon
13.	Panturan Jawa	08/08/2007	6,17°LS 107,6°BT	298	7,1	IV-V	2 rumah rusak di Pelabuhan Ratu

[Sumber: Katalog Gempa Bumi Indonesia, 2006]

4.7 Mata Air Panas sekitar Sesar Utama Cimandiri

Keberadaan jalur sesar biasanya banyak diperlihatkan dengan kemunculan sumber mata air panas yang berada sejalur dengan sesar tersebut. Dalam penelitian ini, dipilih 4 mata air panas yang paling mudah dijangkau yaitu:

- Mata Air Panas Cibadak



Foto 4.1 Mata Air Panas Cibadak

[Sumber: Survey Lapang 2011]

Mata air panas Cibadak seperti yang terlihat pada foto 4.1 berada di dekat akses jaringan jalan utama menuju Sukabumi dan banyak dimanfaatkan oleh penduduk lokal sebagai tempat pemandian. Suhu rata-rata mata air panas Cibadak berkisar $38,4^{\circ}\text{C}$ dengan perubahan suhu yang biasanya terjadi menjelang musim hujan.

- Mata Air Panas Cikundul



Foto 4.2 Mata Air Panas Cikundul

[Sumber: Survey Lapang 2011]

Mata air panas Cikundul seperti yang terlihat pada foto 4.2 telah dikembangkan menjadi salah satu pusat wisata pemandian air panas dengan

lokasi di luar kota Sukabumi. Suhu rata-rata mata air panas Cikundul sekitar 63°C sehingga cukup menarik untuk dijadikan sebagai wisata.

- Mata Air Panas Cisolok

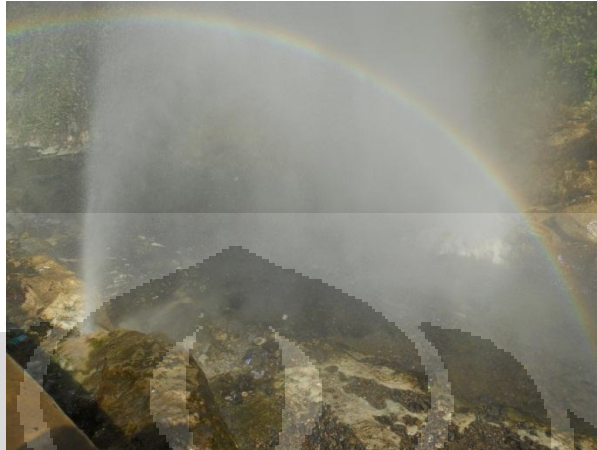


Foto 4.3 Mata Air Panas Cisolok

[Sumber: Survey Lapang 2011]

Mata air panas Cisolok seperti yang terlihat pada foto 4.3 memiliki kesamaan dengan mata air panas Cikundul karena telah dijadikan sebagai pusat wisata pemandian air panas dan terkenal dengan banyaknya sumber mata air panas yang keluar. Keberadaan mata air panas Cisolok sendiri cukup terpencil, berada di lembah tetapi dengan akses jalan yang baik. Suhu mata air panas Cisolok adalah yang tertinggi dengan kisaran suhu 89° - 93°C .

- Mata Air Panas Cidadap

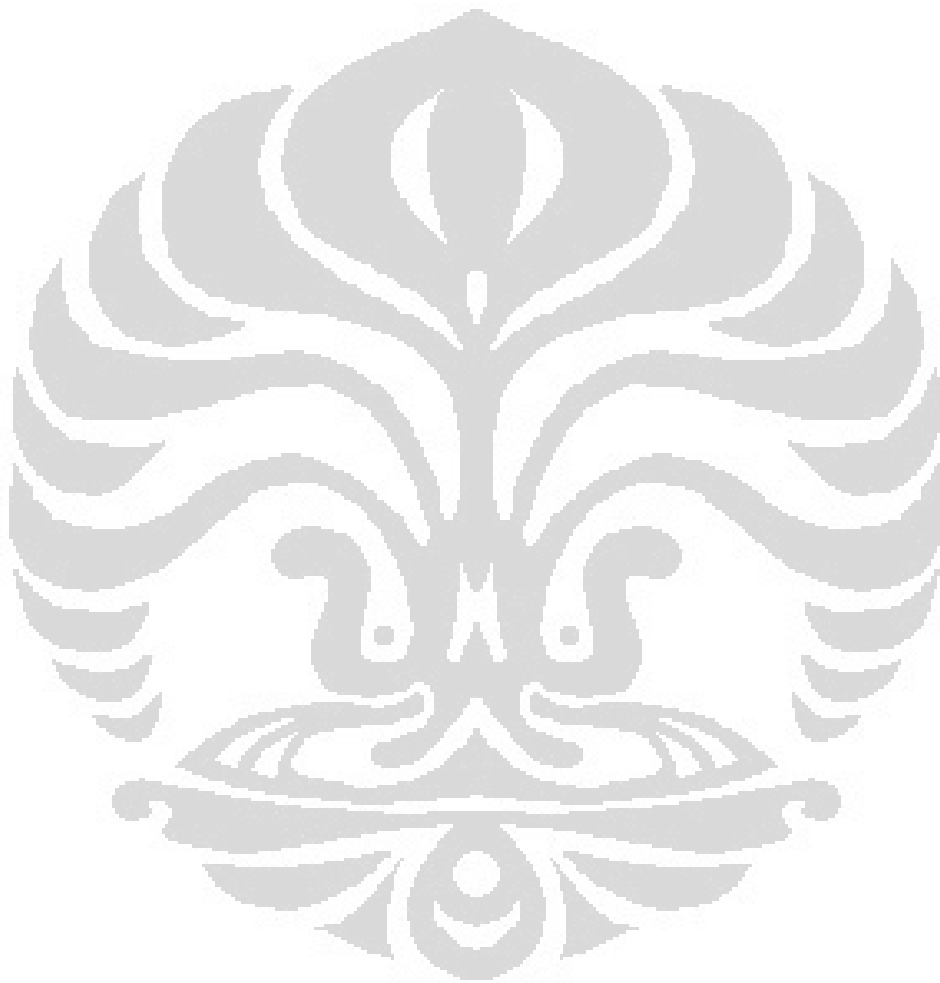


Foto 4.4 Mata Air Panas Cidadap

[Sumber: Survey Lapang 2011]

Mata air panas Cidadap seperti yang terlihat pada foto 4.4 memiliki letak yang cukup terpencil dengan akses jalan yang sulit. Keberadaan mata air panas ini sendiri hanya berupa aliran air yang keluar dari sela batuan.

Sementara pemanfaatan mata air panas Cidadap sendiri tergolong kurang jika dibandingkan dengan ketiga mata air panas lain. Suhu rata-rata mata air panas ini berkisar 51°C .



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan selama bulan Juli-November 2011 telah menghasilkan beberapa catatan dalam variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini. Beberapa data yang didapat seperti catatan aktivitas gempa bumi di daerah penelitian, catatan perubahan suhu mata air panas, serta bagaimana analisis dari kedua variabel tersebut untuk mengetahui hubungannya akan dijelaskan seperti berikut:

5.1 Aktivitas Gempa Bumi

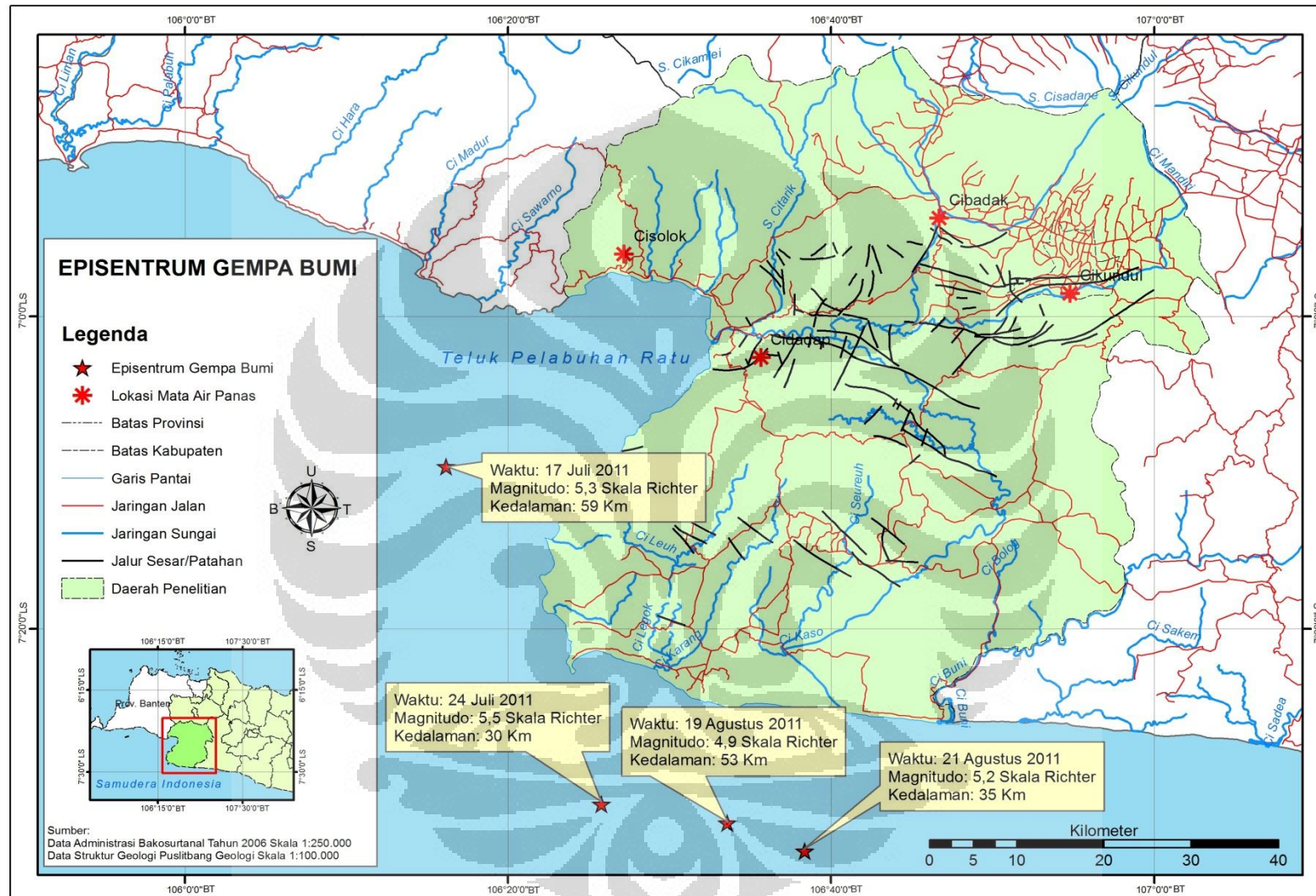
Selama masa penelitian yang dilakukan pada bulan Juli – November 2011 telah tercatat terjadi 4 kali aktivitas gempa bumi yang terjadi di dalam wilayah penelitian. Keempat gempa bumi seperti yang tercantum di dalam tabel 5.1 tergolong kedalam gempa bumi yang dapat dirasakan dan diklasifikasikan kedalam jenis gempa bumi sedang.

Tabel 5.1 Aktivitas Gempa Bumi Tercatat Bulan Juli – November 2011

Tanggal	Lokasi	Magnitudo (SR)	Kedalaman
17 Juli 2011	-7.16° LS 106.27° BT	5,3	59 km
24 Juli 2011	-7.52° LS 106.43° BT	5,5	30 km
19 Agustus 2011	-7.54° LS 106.56° BT	4,9	53 km
21 Agustus 2011	-7.57° LS 106.64° BT	5,2	35 km

[Sumber: Stasiun Geofisika Kelas 1 BMKG Bandung]

Lokasi terjadinya keempat gempa tersebut dapat terlihat di gambar 5.1. Walaupun episentrum gempa berada di laut, getaran yang timbul dapat dirasakan hingga beberapa wilayah lain yang cukup jauh dari episentrum gempa. Pada kejadian gempa tanggal 17 juli 2011, getaran yang terjadi dapat dirasakan hingga beberapa daerah lain. Kekuatan gempa tersebut dirasakan pada skala IV MMI di wilayah Pelabuhan Ratu, skala II-III MMI di wilayah Cisarua, Sukabumi, dan Sindang Barang, serta skala II MMI di wilayah Rangkasbitung dan Lebak.



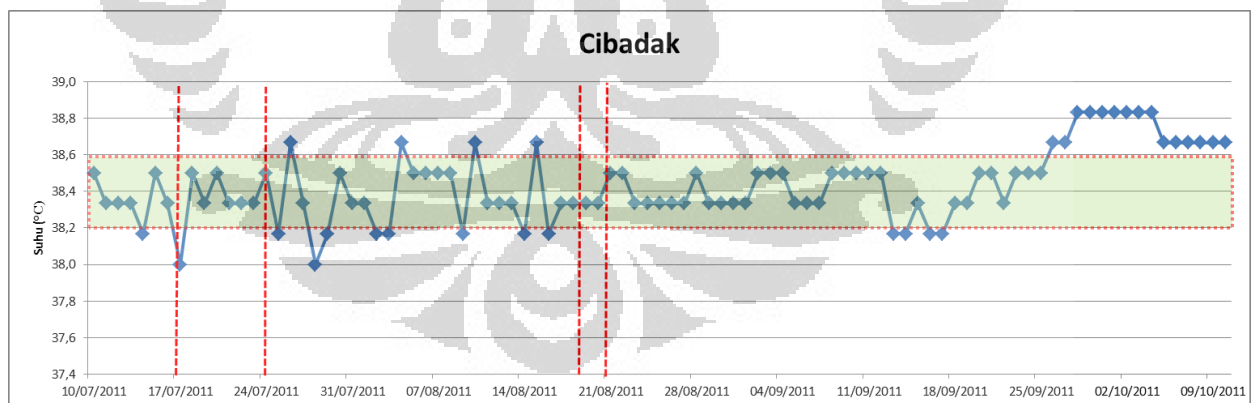
Gambar 5.1 Episentrum Gempa Bumi
[Sumber: Pengolahan Data 2012]

Pada kejadian gempa tanggal 24 Juli 2011, getaran gempa bumi yang terjadi dapat dirasakan dengan skala kekuatan III-IV MMI di wilayah Pengalengan dan Cianjur, skala II-III MMI di wilayah Ciamis, Cisarua, serta skala II MMI di wilayah Jakarta. Kejadian gempa yang dirasakan hingga Jakarta ini cukup memberikan kepanikan pada warga di sekitar pesisir pantai Pelabuhan Ratu.

Pada kejadian gempa tanggal 19 Agustus 2011, getaran gempa bumi yang terjadi dapat dirasakan dengan skala II MMI pada beberapa wilayah di selatan Jawa Barat seperti Garut, Cisarua, hingga Cianjur. Sementara pada gempa tanggal 21 Agustus 2011, walaupun getaran gempa memiliki magnitudo yang lebih besar namun getaran yang dirasakan berada dalam skala yang sama yaitu II MMI untuk wilayah Garut, Cisarua, dan Cianjur.

5.2 Perubahan Suhu pada Mata Air Panas

Sebagai salah satu variabel penting dalam penelitian, pengukuran suhu mata air panas dilakukan selama masa penelitian dalam kurun waktu 4 bulan (Juli – Oktober). Pengukuran tersebut dilakukan di lokasi 4 titik mata air panas di Kabupaten Sukabumi. Ke empat mata air panas tersebut juga merupakan beberapa mata air panas yang memiliki kaitan terhadap keberadaan jalur sesar/patahan terdekat, yaitu sesar Cimandiri.



Keterangan:



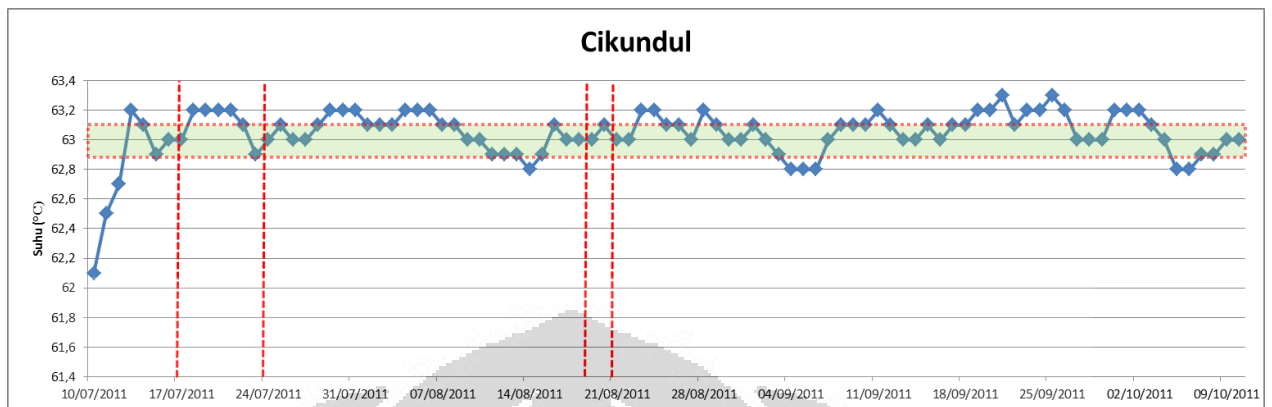
: Batas perubahan suhu berdasarkan nilai standar deviasi

Grafik 5.1 Perubahan Suhu Mata Air Panas Cibadak

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Grafik 5.1 menunjukkan bagaimana perubahan suhu mata air panas di Cibadak selama masa penelitian berlangsung. Perubahan yang terjadi pada suhu di mata air panas tersebut cukup fluktuatif, dan memperlihatkan banyak perubahan yang drastis setelah terjadinya gempa bumi pada tanggal 24 Juli hingga menjelang

gempa bumi pada 19 Agustus dengan suhu rata-rata tercatat pada $38,4^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata perubahan suhu sebesar $0,19^{\circ}\text{C}$.



Keterangan:

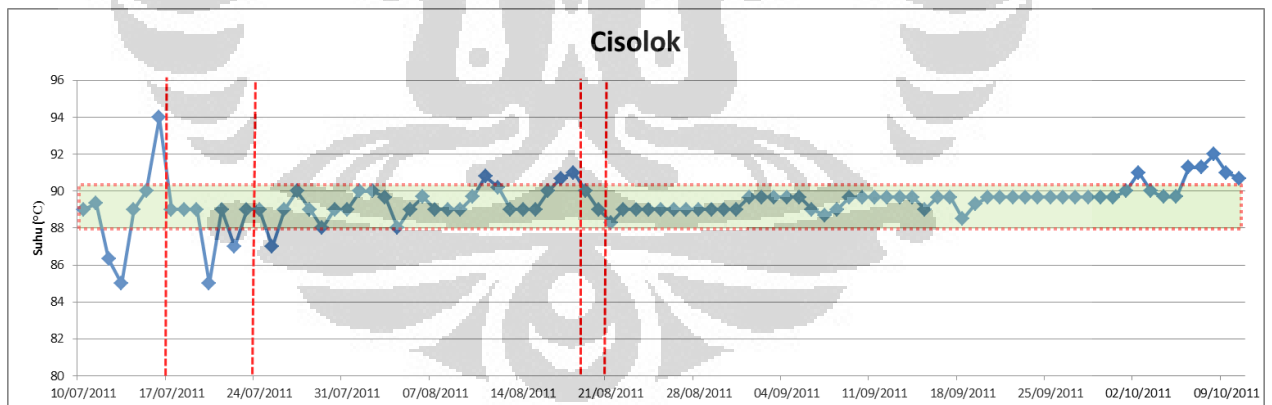


: Batas perubahan suhu berdasarkan nilai standar deviasi

Grafik 5.2 Perubahan Suhu Mata Air Panas Cikundul

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Grafik 5.2 menunjukkan perubahan suhu mata air panas di Cikundul yang menunjukkan perubahan yang tidak terlalu besar. Suhu rata-rata di mata air panas Cikundul tercatat pada angka 63°C dengan rata-rata perubahan suhu berkisar pada $0,1^{\circ}\text{C}$. Arah perubahan dari suhu mata air panas Cikundul sendiri cenderung meningkat tetapi tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan ketiga mata air panas lain.



Keterangan:



: Batas perubahan suhu berdasarkan nilai standar deviasi

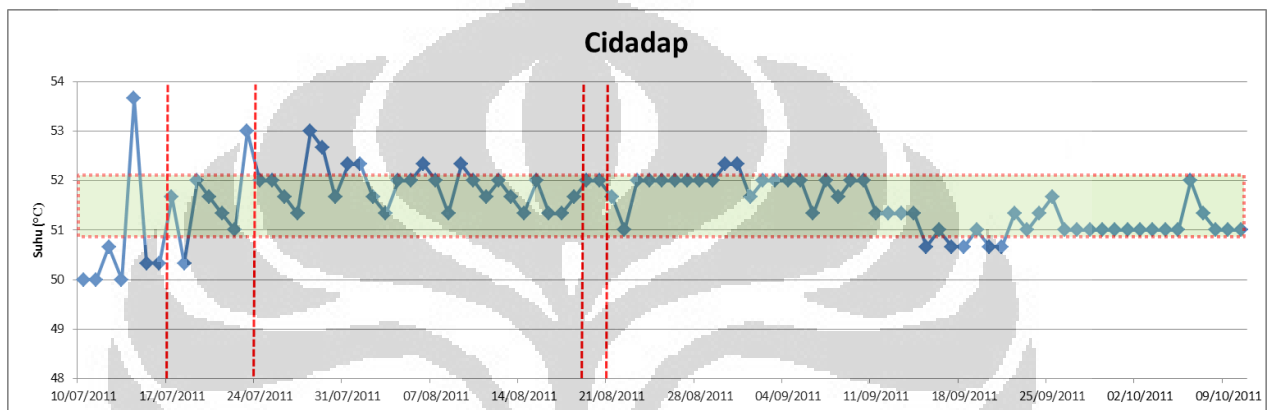
Grafik 5.3 Perubahan Suhu Mata Air Panas Cisolok

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Grafik 5.3 menunjukkan perubahan suhu pada mata air panas Cisolok yang menunjukkan perubahan signifikan di awal penelitian kemudian bergerak lebih stabil pada bulan kedua dan ketiga. Suhu rata-rata mata air panas Cisolok sendiri merupakan yang tertinggi dibandingkan ketiga mata air panas lain, yaitu sekitar

89,4°C serta mencatat rata-rata perubahan suhu terbesar dibandingkan mata air panas lain, yaitu mencapai 0,7°C.

Perubahan suhu mata air panas Cidadap dapat terlihat pada grafik 5.4 dibawah. Jika dibandingkan dengan ketiga mata air panas lain, arah perubahan suhu mata air panas di Cidadap cenderung menurun. Suhu rata-rata mata air panas Cidadap sendiri tercatat sekitar 51,5°C serta rata-rata perubahan suhu tercatat sekitar 0,4°C. Hal ini menjadikan mata air panas Cidadap sebagai mata air kedua yang memiliki perubahan rata-rata suhu tertinggi setelah mata air Cisolok.



Keterangan:



: Batas perubahan suhu berdasarkan nilai standar deviasi

Grafik 5.4 Perubahan Suhu Mata Air Panas Cidadap

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Berdasarkan keempat grafik perubahan (Grafik 5.2, 5.3, 5.4, 5.5), dapat terlihat bahwa perubahan suhu yang terjadi akibat adanya kemungkinan pengaruh aktivitas gempa bumi tidak menunjukkan adanya ketetapan batasan waktu yang sama. Setiap mata air panas menunjukkan perubahan suhu yang berbeda-beda, baik dari besaran perubahan, maupun fluktuasi suhu yang terjadi.

5.3 Perbandingan Aktivitas Gempa Bumi dan Perubahan Suhu Mata Air Panas

Perbandingan antara aktivitas gempa bumi dengan perubahan suhu mata air panas dilakukan dengan menganalisis besaran anomali perubahan suhu yang terjadi terhadap rata-rata perubahan suhu sebelum hingga sesudah kejadian gempa bumi. Analisis tersebut antara lain:

5.3.1 Aktivitas Gempa Bumi 17 Juli

Aktivitas gempa bumi yang terjadi pada tanggal 17 Juli merupakan aktivitas gempa bumi yang berpusat di laut dan dikategorikan kedalam gempa bumi

sedang. Perubahan suhu mata air panas juga tercatat terjadi pada saat menjelang dan setelah terjadinya aktivitas gempa bumi pada kedua tanggal tersebut. Tabel 5.2 memperlihatkan perubahan suhu yang terjadi di keempat mata air panas menjelang hingga setelah terjadinya aktivitas gempa bumi pada tanggal 17 Juli.

Tabel 5.2 Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 17 Juli

Tanggal	Cisolok (Jarak 32,2 Km)			Cidadap (Jarak 38 Km)			Cibadak (Jarak 63,4 Km)			Cikundul (Jarak 74 Km)		
	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)
10/07/2011	89	0,3	0,8	50	0	0,7	38,5	0,2	0	62,1	0,4	0,2
11/07/2011	89,3	3,0	1,8	50	0,7	0	38,3	0	0,2	62,5	0,2	0
12/07/2011	86,3	1,3	0,2	50,7	0,7	0	38,3	0	0,2	62,7	0,5	0,3
13/07/2011	85	4,0	2,8	50	3,7	3,0	38,3	0,2	0	63,2	0,1	0,1
14/07/2011	89	1,0	0,2	53,7	3,3	2,7	38,2	0,3	0,1	63,1	0,2	0
15/07/2011	90	4,0	2,8	50,3	0	0,7	38,5	0,2	0	62,9	0,1	0,1
16/07/2011	94	5,0	3,8	50,3	1,3	0,7	38,3	0,3	0,1	63	0	0,2
17/07/2011	89	0	1,2	51,7	1,3	0,7	38,0	0,5	0,3	63	0,2	0
18/07/2011	89	0	1,2	50,3	1,7	1,0	38,5	0,2	0	63,2	0	0,2
19/07/2011	89	4,0	2,8	52	0,3	0,3	38,3	0,2	0	63,2	0	0,2
20/07/2011	85	4,0	2,8	51,7	0,3	0,3	38,5	0,2	0	63,2	0	0,2
21/07/2011	89	2,0	0,8	51,3	0,3	0,3	38,3	0	0,2	63,2	0,1	0,1
22/07/2011	87	2,0	0,8	51	2,0	1,3	38,3	0	0,2	63,1	0,2	0
23/07/2011	89	0	1,2	53	1,0	0,3	38,3	0,2	0	62,9	0,1	0,1
24/07/2011	89	-	-	52	-	-	38,5	-	-	63	-	-

Keterangan:

- ΔT : Perubahan suhu
- ΔT Deviasi : Perbedaan perubahan suhu terhadap nilai deviasi
- Nilai deviasi suhu : Cisolok 1,2°C Cibadak 0,2°C
Cidadap 0,7°C Cikundul 0,2°C
- : Perubahan suhu diluar batas nilai deviasi
- : Aktivitas gempa bumi

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Perubahan suhu mata air panas dapat terlihat mulai terjadi semenjak tanggal 10 Juli pada mata air panas Cisolok dengan adanya perubahan yang cukup besar hingga menjelang aktivitas gempa pada tanggal 17 Juli. Perubahan suhu tersebut juga terlihat terjadi setelah aktivitas gempa hingga tanggal 20 Juli. Perubahan suhu tertinggi tercatat hingga mencapai 5°C pada tanggal 16 Juli.

Mata air panas Cikundul juga menunjukkan adanya perubahan yang mulai terjadi sejak tanggal 12 Juli atau 5 hari sebelum terjadi aktivitas gempa bumi dengan perubahan suhu puncak terjadi pada tanggal 13 Juli sebesar 3,7°C. Aktivitas perubahan suhu pada mata air panas Cikundul kemudian mulai terlihat normal setelah tanggal 18 Juli atau 1 hari setelah terjadinya gempa bumi. Sementara pada kedua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cidadap, tidak terlihat adanya perubahan suhu yang tampak berbeda dibandingkan perubahan suhu normal.



5.3.2 Aktivitas Gempa Bumi 24 Juli

Aktivitas gempa bumi yang terjadi pada tanggal 24 Juli merupakan aktivitas gempa bumi yang berpusat di laut dan dikategorikan kedalam gempa bumi sedang sama halnya dengan aktivitas gempa bumi 17 Juli. Perubahan suhu mata air panas juga tercatat terjadi pada saat menjelang dan setelah terjadinya aktivitas gempa bumi pada kedua tanggal tersebut. Tabel 5.3 memperlihatkan perubahan suhu yang terjadi di keempat mata air panas menjelang hingga setelah terjadinya aktivitas gempa bumi pada tanggal 24 Juli.

Tabel 5.3 Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 24 Juli

Tanggal	Cidadap (55,7 Km)			Cisolok (64,9 Km)			Cibadak (79 Km)			Cikundul (80,5 Km)		
	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)
17/07/2011	51,7	1,3	0,7	89	0	1,2	38,0	0,5	0,3	63	0,2	0
18/07/2011	50,3	1,7	1,0	89	0	1,2	38,5	0,2	0	63,2	0	0,2
19/07/2011	52	0,3	0,3	89	4,0	2,8	38,3	0,2	0	63,2	0	0,2
20/07/2011	51,7	0,3	0,3	85	4,0	2,8	38,5	0,2	0	63,2	0	0,2
21/07/2011	51,3	0,3	0,3	89	2,0	0,8	38,3	0	0,2	63,2	0,1	0,1
22/07/2011	51	2,0	1,3	87	2,0	0,8	38,3	0	0,2	63,1	0,2	0
23/07/2011	53	1,0	0,3	89	0	1,2	38,3	0,2	0	62,9	0,1	0,1
24/07/2011	52	0,0	0,7	89	2,0	0,8	38,5	0,3	0,1	63	0,1	0,1
25/07/2011	52	0,3	0,3	87	2,0	0,8	38,2	0,5	0,3	63,1	0,1	0,1
26/07/2011	51,7	0,3	0,3	89	1,0	0,2	38,7	0,3	0,1	63	0	0,2
27/07/2011	51,3	1,7	1,0	90	1,0	0,2	38,3	0,3	0,1	63	0,1	0,1
28/07/2011	53	0,3	0,3	89	1,0	0,2	38,0	0,2	0	63,1	0,1	0,1
29/07/2011	52,7	1,0	0,3	88	1,0	0,2	38,2	0,3	0,1	63,2	0	0,2
30/07/2011	51,7	0,7	0	89	0	1,2	38,5	0,2	0	63,2	0	0,2
31/07/2011	52,3	-	-	89	-	-	38,3	-	-	63,2	-	-

Keterangan:

- ΔT : Perubahan suhu
- ΔT Deviasi : Perbedaan perubahan suhu terhadap nilai deviasi
- Nilai deviasi suhu : Cisolok 1,2°C Cibadak 0,2°C
Cidadap 0,7°C Cikundul 0,2°C
-  : Perubahan suhu diluar batas nilai deviasi
-  : Aktivitas gempa bumi

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Perubahan suhu akibat adanya aktivitas gempa bumi pada tanggal 24 Juli terlihat mempengaruhi dua mata air panas, yaitu Cidadap dan Cisolok. Berbeda pada aktivitas gempa bumi pertama pada 17 Juli, perubahan suhu tidak terlihat lebih besar atau cenderung lebih kecil. Di mata air panas Cidadap, perubahan suhu yang melebihi nilai deviasi baru terlihat dua hari menjelang terjadinya gempa bumi, yaitu pada tanggal 22 Juli dengan perubahan sebesar 2°C.

Perubahan yang lebih besar tetapi dapat terlihat di mata air panas Cisolok. Tercatat bahwa perubahan yang terjadi diluar batasan nilai deviasi suhu mulai terlihat sejak 5 hari sebelum aktivitas gempa bumi, yaitu pada tanggal 19 Juli. Perubahan sebesar 4°C tersebut kemudian terus dialami dengan adanya kenaikan

dan penurunan suhu serupa hingga perubahan suhu mulai terlihat normal setelah 1 hari aktivitas gempa dilewati, yaitu pada tanggal 25 Juli. Sementara pada kedua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cikundul tercatat tidak adanya perubahan yang melebihi batasan nilai deviasi suhu.



5.3.3 Aktivitas Gempa Bumi 19 Agustus

Aktivitas gempa bumi yang terjadi pada tanggal 19 Agustus tidak dapat terlepas dari adanya aktivitas gempa setelahnya yaitu pada tanggal 21 Agustus. Hal ini menyebabkan adanya perubahan suhu yang mungkin saling terkait dan turut mempengaruhi. Perubahan suhu mata air panas juga tercatat terjadi pada saat menjelang dan setelah terjadinya aktivitas gempa bumi pada tanggal tersebut.

Tabel 5.4 Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 19 Agustus

Tanggal	Cidadap (Jarak 55 Km)			Cisolok (Jarak 68 Km)			Cikundul (Jarak 73,6 Km)			Cibadak (Jarak 75,3 Km)		
	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)
12/08/2011	52	0,3	0,3	90,2	1,2	0	62,9	0	0,2	38,3	0	0,2
13/08/2011	51,7	0,3	0,3	89	0	1,2	62,9	0,1	0,1	38,3	0,2	0
14/08/2011	51,3	0,7	0	89	0	1,2	62,8	0,1	0,1	38,2	0,5	0,3
15/08/2011	52	0,7	0	89	1,0	0,2	62,9	0,2	0	38,7	0,5	0,3
16/08/2011	51,3	0	0,7	90	0,7	0,5	63,1	0,1	0,1	38,2	0,2	0
17/08/2011	51,3	0,3	0,3	90,7	0,3	0,9	63	0	0,2	38,3	0	0,2
18/08/2011	51,7	0,3	0,3	91	1,0	0,2	63	0	0,2	38,3	0	0,2
19/08/2011	52	0	0,7	90	1,0	0,2	63	0,1	0,1	38,3	0	0,2
20/08/2011	52	0,3	0,3	89	0,7	0,5	63,1	0,1	0,1	38,3	0,2	0
21/08/2011	51,7	0,7	0,0	88,3	0,7	0,5	63	0	0,2	38,5	0	0,2
22/08/2011	51	1,0	0,3	89	0	1,2	63	0,2	0	38,5	0,2	0
23/08/2011	52	0	0,7	89	0	1,2	63,2	0	0,2	38,3	0	0,2
24/08/2011	52	0	0,7	89	0	1,2	63,2	0,1	0,1	38,3	0	0,2
25/08/2011	52	0	0,7	89	0	1,2	63,1	0	0,2	38,3	0	0,2
26/08/2011	52	-	-	89	-	-	63,1	-	-	38,3	-	-

Keterangan:

- ΔT : Perubahan suhu
- ΔT Deviasi : Perbedaan perubahan suhu terhadap nilai deviasi
- Nilai deviasi suhu : Cisolok 1,2°C Cibadak 0,2°C
Cidadap 0,7°C Cikundul 0,2°C
-  : Perubahan suhu diluar batas nilai deviasi
-  : Aktivitas gempa bumi

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Tabel 5.4 memperlihatkan perubahan suhu yang terjadi di keempat mata air panas menjelang hingga setelah terjadinya aktivitas gempa bumi pada tanggal 19 Agustus. perubahan suhu di mata air panas Cidadap mulai dapat terlihat sejak tanggal 17 Agustus atau 2 hari sebelum aktivitas gempa bumi terjadi hingga kemudian suhu mulai terlihat normal pada tanggal 22 Agustus. Mata air panas

Cisolok juga menunjukkan hal serupa dengan adanya perubahan suhu yang mulai terlihat sejak tanggal 15 Agustus.

Walaupun perubahan suhu tercatat mengalami kenaikan atau penurunan, jika dibandingkan dengan aktivitas gempa sebelumnya, perubahan suhu tersebut tergolong kecil. Sementara pada mata air panas Cibadak dan Cikundul, perubahan suhu cenderung tidak terjadi, dengan kata lain perubahan suhu terlihat normal tanpa adanya kenaikan atau penurunan yang memperlihatkan perbedaan mencolok.

5.3.4 Aktivitas Gempa Bumi 21 Agustus

Terjadinya aktivitas gempa bumi pada 21 Agustus yang berdekatan dengan aktivitas gempa bumi pada 19 Agustus baik pada episentrum maupun waktu terjadinya memberikan pengaruh perubahan suhu yang cenderung sama dan saling berkaitan. Perubahan suhu tersebut dapat terlihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perubahan Suhu Mata Air Panas pada Aktivitas Gempa Bumi 21 Agustus

Tanggal	Cidadap (Jarak 58,4 Km)			Cikundul (Jarak 72,3 Km)			Cisolok (Jarak 73,3 Km)			Cibadak (Jarak 76 Km)		
	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)	Suhu (°C)	ΔT (°C)	ΔT Deviasi (°C)
13/08/2011	51,7	0,3	0,3	62,9	0,1	0,1	89	0	1,2	38,3	0,2	0
14/08/2011	51,3	0,7	0	62,8	0,1	0,1	89	0	1,2	38,2	0,5	0,3
15/08/2011	52	0,7	0	62,9	0,2	0	89	1,0	0,2	38,7	0,5	0,3
16/08/2011	51,3	0	0,7	63,1	0,1	0,1	90	0,7	0,5	38,2	0,2	0
17/08/2011	51,3	0,3	0,3	63	0	0,2	90,7	0,3	0,9	38,3	0	0,2
18/08/2011	51,7	0,3	0,3	63	0	0,2	91	1,0	0,2	38,3	0	0,2
19/08/2011	52	0	0,7	63	0,1	0,1	90	1,0	0,2	38,3	0	0,2
20/08/2011	52	0,3	0,3	63,1	0,1	0,1	89	0,7	0,5	38,3	0,2	0
21/08/2011	51,7	0,7	0	63	0	0,2	88,3	0,7	0,5	38,5	0	0,2
22/08/2011	51	1,0	0,3	63	0,2	0	89	0	1,2	38,5	0,2	0
23/08/2011	52	0	0,7	63,2	0	0,2	89	0	1,2	38,3	0	0,2
24/08/2011	52	0	0,7	63,2	0,1	0,1	89	0	1,2	38,3	0	0,2
25/08/2011	52	0	0,7	63,1	0	0,2	89	0	1,2	38,3	0	0,2
26/08/2011	52	0	0,7	63,1	0,1	0,1	89	0	1,2	38,3	0	0,2
27/08/2011	52	-	-	63	-	-	89	-	-	38,3	-	-

Keterangan:

- ΔT : Perubahan suhu
- ΔT Deviasi : Perbedaan perubahan suhu terhadap nilai deviasi
- Nilai deviasi suhu : Cisolok 1,2°C Cibadak 0,2°C
Cidadap 0,7°C Cikundul 0,2°C
- : Perubahan suhu diluar batas nilai deviasi
- : Aktivitas gempa bumi

[Sumber: Pengolahan Data Suhu 2012]

Berbeda dengan ketiga aktivitas gempa bumi sebelumnya, pada aktivitas gempa bumi 21 Agustus terlihat bahwa perubahan suhu mata air panas terjadi tidak hanya pada mata air panas yang berjarak paling dekat saja, walaupun perbedaan jarak tersebut tidak terlalu besar. Seperti halnya pada aktivitas gempa bumi 19 Agustus, perubahan mata air panas Cidadap terlihat terkait dengan

aktivitas gempa sebelumnya, dengan waktu hanya berbeda 1 hari antara aktivitas gempa 19 Agustus dan 21 Agustus. Sementara pada kedua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cikundul perubahan tidak terlihat besar, atau dapat dikatakan normal.

5.4 Perbandingan Jarak Episentrum Gempa Bumi terhadap Lokasi Mata Air Panas

Faktor jarak episentrum gempa bumi terhadap lokasi mata air panas turut menentukan bagaimana besar pengaruh dari adanya aktivitas gempa bumi tersebut terhadap perubahan suhu yang terjadi pada mata air panas. Hal ini terkait dengan adanya perbedaan kecepatan rambat gelombang seismik pada beberapa jenis batuan yang ada di daerah penelitian.

5.4.1 Episentrum Gempa Bumi 17 Juli 2011

Episentrum gempa bumi yang terjadi pada tanggal 17 Juli 2011 dapat terlihat pada gambar 5.2. Gempa bumi yang terjadi di laut sekitar teluk Pelabuhan Ratu tersebut memberikan beberapa perbedaan pada perubahan suhu di keempat lokasi mata air panas yang dapat dikaitkan pada jarak terhadap episentrum gempa bumi. Hal ini akan mempengaruhi bagaimana besaran dan waktu dari gelombang seismik dari episentrum gempa bumi untuk sampai di lokasi mata air panas. Jenis batuan yang berada sekitar lokasi mata air panas dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 5.6 Perbandingan Jarak, Jenis Batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 17 Juli 2011

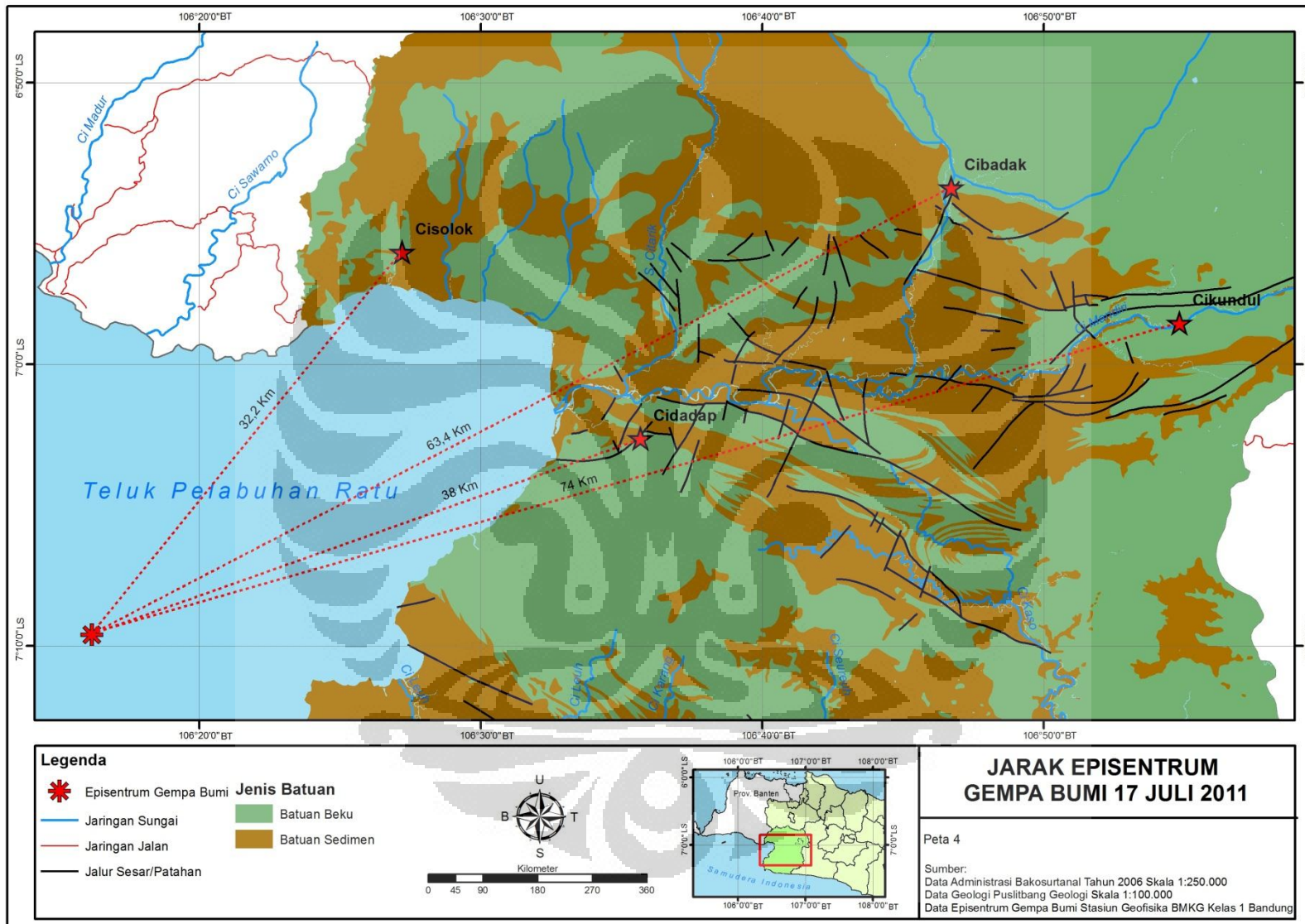
Mata Air Panas	D	Jenis Batuan	Vp (m/s)
Cisolok	32,2 Km	Dominasi batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
Cidadap	38 Km	Melewati sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit) dan batuan sedimen (lempung, pasir)	4500-6000 1100-2500
Cibadak	63,4 Km	Sebagian besar berupa batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
Cikundul	74 Km	Sebagian besar berupa batuan beku (granit, basalt, andesit) dan susunan batuan sedimen (pasir, lempung)	4500-6000 2000-3500

D: Jarak (km) episentrum gempa bumi terhadap titik mata air panas

Jenis Batuan: jenis batuan yang dilalui jika ditarik garis lurus episentrum-mata air panas

Vp: Kecepatan gelombang seismik P

[Sumber: Pengolahan Data Jarak dan Geologi 2012]



Gambar 5.2 Jarak Episentrum Gempa Bumi 17 Juli 2011

[Sumber: Pengolahan Data Gempa Bumi Survey Lapangan 2011]

Keberadaan mata air panas Cisolok tergolong dekat dengan episentrum gempa yaitu berjarak 32,2 km. Mata air panas Cisolok sendiri terletak di atas lapisan batuan beku (granit, basalt, andesit) dengan kemampuan menghantarkan gelombang seismik yang tergolong tinggi. Hal ini turut mempengaruhi besar pengaruh perubahan suhu mata air yang terjadi.

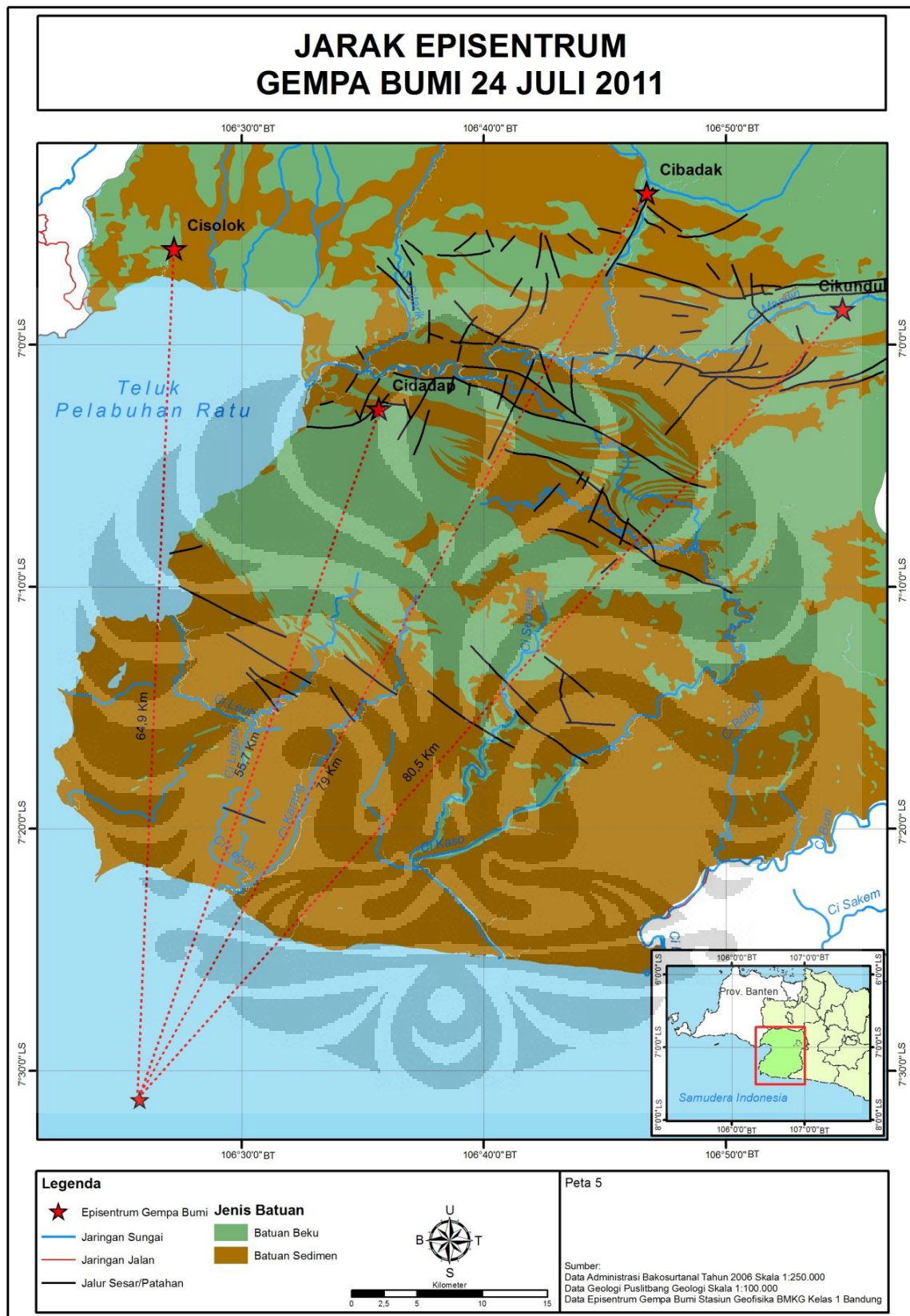
Sementara mata air panas Cidadap berada cukup dekat dengan episentrum gempa bumi yang terjadi yaitu berjarak 38 km. Lokasi mata air panas Cidadap terletak di atas lapisan batuan sedimen (lempung, pasir) yang memiliki kemampuan menghantarkan gelombang seismik lebih rendah dibandingkan dengan jenis batuan beku (granit, basalt, andesit). Namun keberadaannya yang dekat dengan episentrum gempa tentu sangat mempengaruhi besar gelombang seismik yang diterima.

Lokasi mata air panas Cibadak berada sekitar 63,4 km dari episentrum gempa bumi yang terjadi. Di mata air panas ini, gelombang seismik dari episentrum gempa harus melewati beberapa jenis batuan terutama batuan beku (granit, basalt, andesit) dan batuan breksi. Mata air panas Cibadak sendiri berada di atas lapisan batuan beku. Jika didasarkan atas jenis batuan yang dilewati tersebut, seharusnya gelombang seismik yang mencapai lokasi mata air panas Cibadak masih cukup besar, walaupun telah mengalami banyak pelemahan.

Lokasi mata air panas Cikundul merupakan lokasi terjauh dengan jarak sekitar 74 km terhadap episentrum gempa bumi tanggal 17 Juli 2011. Mata air panas Cikundul sendiri berada diatas lapisan batuan beku dengan kemampuan menghantarkan gelombang seismik yang tinggi. Namun faktor jarak yang cukup jauh terhadap episentrum gempa bumi tentu lebih berpengaruh karena gelombang seismik yang terbentuk akan banyak mengalami pelemahan.

5.4.2 Episentrum Gempa Bumi 24 Juli 2011

Aktivitas gempa bumi pada tanggal 24 Juli 2011 dapat terlihat pada gambar 5.3. Keberadaan episentrum gempa bumi yang terletak jauh di selatan tentu memberikan pengaruh yang sangat berbeda pada perubahan suhu mata air panas dibandingkan dengan episentrum gempa bumi yang terjadi pada tanggal 17 Juli 2011.



Gambar 5.3 Jarak Episentrum Gempa Bumi 24 Juli 2011
 [Sumber: Pengolahan Data Gempa Bumi Survey Lapangan 2011]

Selain faktor jarak tersebut, keberadaan jenis batuan yang berbeda di antara episentrum gempa dan mata air panas juga turut berpengaruh terkait dengan cepat rambat gelombang seismik yang terjadi.

Tabel 5.7 Perbandingan Jarak, Jenis Batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 24 Juli 2011

Mata Air Panas	D	Jenis Batuan	Vp (m/s)
Cisolok	64,9 Km	Melewati kombinasi batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		batuan sedimen (lempung, pasir)	1100-2500
		batuan sedimen (pasir, lempung)	2000-3500
Cidadap	55,7 Km	Melewati batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		batuan sedimen (lempung, pasir)	1100-2500
		dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
Cibadak	79 Km	Melewati batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		batuan sedimen (lempung, pasir)	1100-2500
		Sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
		serta kombinasi batuan sedimen (pasir, lempung)	2000-3500
Cikundul	80,5 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium)	1500-2000
		batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		Sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
		serta kombinasi batuan sedimen (pasir, lempung)	2000-3500

D: Jarak (km) episentrum gempa bumi terhadap titik mata air panas

Jenis Batuan: jenis batuan yang dilalui jika ditarik garis lurus episentrum-mata air panas

Vp: Kecepatan gelombang seismik P

[Sumber: Pengolahan Data Jarak dan Geologi 2012]

Dibandingkan dengan aktivitas gempa bumi tanggal 17 Juli 2011 yang terletak lebih dekat dengan lokasi mata air panas, pada aktivitas gempa tanggal 24 Juli 2011 ini episentrum gempa tergolong cukup jauh, berada di selatan daerah penelitian. Untuk mata air panas Cisolok yang berada di bagian barat daerah penelitian, jarak terhadap episentrum mencapai 64,9 km dengan melewati beberapa jenis batuan yang didominasi oleh batuan sedimen lempung dan pasir.

Jenis batuan ini sendiri tergolong kurang mampu menyalurkan gelombang seismik yang baik, atau dengan kata lain lebih bersifat menghambat rambatan gelombang. Hal ini terlihat dari kecepatan rambat gelombang yang berkisar antara 1100 hingga 2500 m/s terkecuali pada jenis batuan sedimen kapur yang juga berada secara garis lurus antara episentrum gempa dan lokasi mata air panas Cisolok.

Mata air panas Cidadap, terletak pada jarak 55,7 km terhadap episentrum gempa bumi dan merupakan lokasi mata air panas terdekat dibandingkan ke tiga mata air panas lain. Jika ditarik garis lurus antara episentrum gempa bumi dan lokasi mata air Cidadap, dapat ditemui beberapa jenis batuan yang banyak didominasi oleh batuan beku (granit, basalt, andesit) serta kombinasi batuan

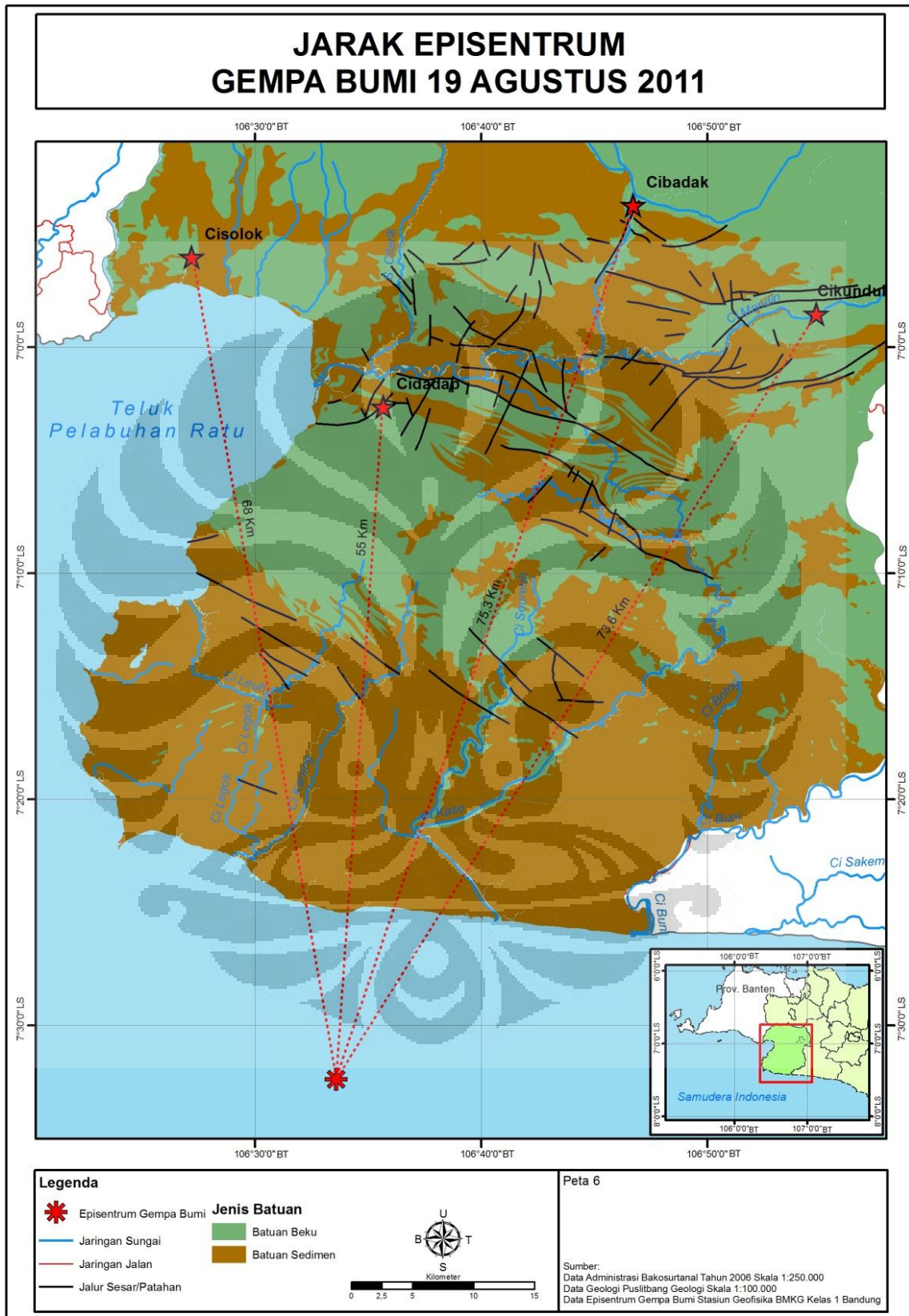
sedimen lempung dan kapur bercampur pasir. Keberadaan jenis batuan yang berbeda-beda perlu dijadikan salah satu faktor yang menentukan dalam melihat perambatan gelombang seismik walaupun jarak lokasi mata air panas Cidadap paling dekat terhadap episentrum gempa bumi dibandingkan ke tiga mata air panas lain.

Sementara pada kedua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cikundul memiliki jarak masing-masing 79 km dan 80,5 km. Kedua mata air panas ini berada di bagian tengah dan timur dari daerah penelitian. Jika ditarik garis lurus dari episentrum gempa bumi terhadap masing-masing mata air panas ini, terdapat beberapa kesamaan kombinasi jenis batuan yang ditemui yaitu dominasi batuan beku (granit, basalt, andesit) serta adanya batuan sedimen kapur dan lempung bercampur pasir. Jarak yang jauh terhadap episentrum gempa bumi juga kombinasi berbagai batuan tersebut sangat mempengaruhi cepat rambat gelombang seismik yang dapat mencapai kedua lokasi mata air panas tersebut.

5.4.3 Episentrum Gempa Bumi 19 Agustus 2011

Aktivitas gempa bumi yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 2011 memiliki episentrum yang berada di selatan daerah penelitian. Sama halnya dengan lokasi episentrum gempa bumi pada tanggal 24 Juli 2011, jarak episentrum terhadap ke empat mata air panas terbilang cukup jauh serta melewati berbagai jenis lapisan batuan yang berbeda-beda. Lokasi episentrum gempa bumi ini serta radius jangkauannya dapat terlihat pada gambar 5.4.

Secara garis besar, keberadaan berbagai jenis batuan di bagian selatan daerah penelitian menjadi bentuk hambatan terhadap perambatan gelombang seismik dari episentrum gempa bumi hingga mencapai lokasi mata air panas. Lokasi mata air panas Cisolok berada pada jarak 68 km dari episentrum gempa bumi pada tanggal 19 Agustus 2011. Sementara jika ditarik garis lurus maka dapat ditemui beberapa jenis batuan dengan dominasi berupa batuan sedimen lempung berpasir. Tidak jauh berbeda dengan mata air panas Cidadap, mata air panas yang berlokasi sekitar 55 km dari episentrum gempa tersebut juga dapat ditemui beberapa jenis batuan sedimen dengan dominasi lempung berpasir di bagian awal hingga batuan beku basalt di sekitar mata air panas Cidadap tersebut.



Gambar 5.4 Jarak Episentrum Gempa Bumi 19 Agustus 2011
 [Sumber: Pengolahan Data Gempa Bumi Survey Lapang 2011]

Beberapa jenis batuan yang berada diantara ke empat mata air panas terhadap episentrum gempa bumi dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Perbandingan Jarak, Jenis Batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 19 Agustus 2011

Mata Air Panas	D	Jenis Batuan	Vp (m/s)
Cisolok	68 Km	Melewati kombinasi batuan sedimen (kapur, pasir) batuan sedimen (lempung, pasir) dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	3500-6000 1100-2500 4500-6000
Cidadap	55 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium) kombinasi batuan sedimen (kapur, pasir) batuan sedimen (lempung, pasir) dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	1500-2000 3500-6000 1100-2500 4500-6000
Cibadak	75,3 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium) batuan sedimen (kapur, pasir) Sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit) serta kombinasi batuan sedimen (pasir, lempung)	1500-2000 3500-6000 4500-6000 2000-3500
Cikundul	73,6 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium) batuan sedimen (kapur, pasir) kombinasi batuan sedimen (pasir, lempung) dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	1500-2000 3500-6000 2000-3500 4500-6000

D: Jarak (km) episentrum gempa bumi terhadap titik mata air panas

Jenis Batuan: jenis batuan yang dilalui jika ditarik garis lurus episentrum-mata air panas

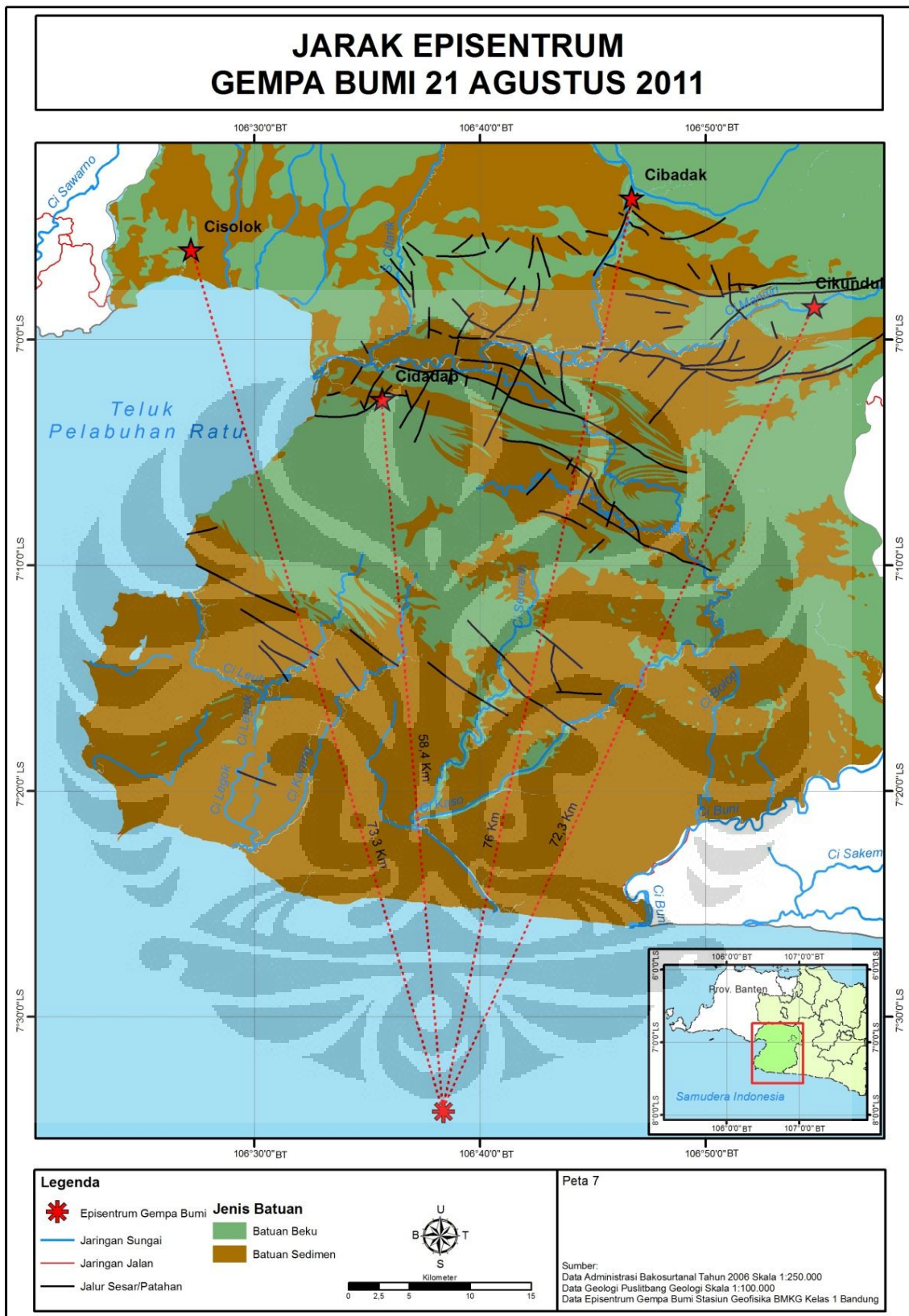
Vp: Kecepatan gelombang seismik P

[Sumber: Pengolahan Data Jarak dan Geologi 2012]

Di dua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cikundul memiliki jarak masing-masing 75,3 km dan 73,6 km. Kedua mata air panas tersebut memiliki jenis batuan yang sama, yaitu lapisan batuan sedimen alluvium, kapur dan pasir serta dominasi batuan beku pada bagian di sekitar kedua mata air panas tersebut jika ditarik garis lurus antara kedua mata air panas tersebut terhadap episentrum gempa bumi yang terjadi.

5.4.4 Episentrum Gempa Bumi 21 Agustus 2011

Episentrum gempa bumi pada tanggal 21 Agustus 2011 terletak di lokasi yang berdekatan dengan episentrum gempa bumi pada tanggal 19 Agustus 2011. Lokasi episentrum gempa bumi tersebut dapat dilihat pada gambar 5.5. Lokasi episentrum yang berdekatan dengan episentrum gempa sebelumnya menjadikan jenis batuan yang dilalui oleh gelombang seismik jika ditarik garis lurus terhadap ke empat mata air panas memiliki kesamaan dengan jenis batuan yang dilewati pada saat aktivitas gempa bumi 19 Agustus 2011. Pada tabel 5.9 dapat dilihat jenis batuan yang dilewati.



Gambar 5.5 Jarak Episentrum Gempa Bumi 21 Agustus 2011
 [Sumber: Pengolahan Data Gempa Bumi Survey Lapang 2011]

Tabel 5.9 Perbandingan Jarak, Jenis Batuan, dan Cepat Rambat Gelombang pada Gempa Bumi 19 Agustus 2011

Mata Air Panas	D	Jenis Batuan	Vp (m/s)
Cisolok	73,3 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium)	1500-2000
		kombinasi batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		batuan sedimen (lempung, pasir)	1100-2500
		dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
Cidadap	58,4 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium)	1500-2000
		Melewati kombinasi batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		batuan sedimen (lempung, pasir)	1100-2500
		dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
Cibadak	76 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium)	1500-2000
		batuan sedimen (kapur, pasir)	3500-6000
		Sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000
		serta kombinasi batuan sedimen (pasir, lempung)	2000-3500
Cikundul	72,3 Km	melewati lapisan batuan sedimen (klastik, alluvium)	1500-2000
		kombinasi batuan sedimen (pasir, lempung)	2000-3500
		dan sebagian besar batuan beku (granit, basalt, andesit)	4500-6000

D: Jarak (km) episentrum gempa bumi terhadap titik mata air panas

Jenis Batuan: jenis batuan yang dilalui jika ditarik garis lurus episentrum-mata air panas

Vp: Kecepatan gelombang seismik P

[Sumber: Pengolahan Data Jarak dan Geologi 2012]

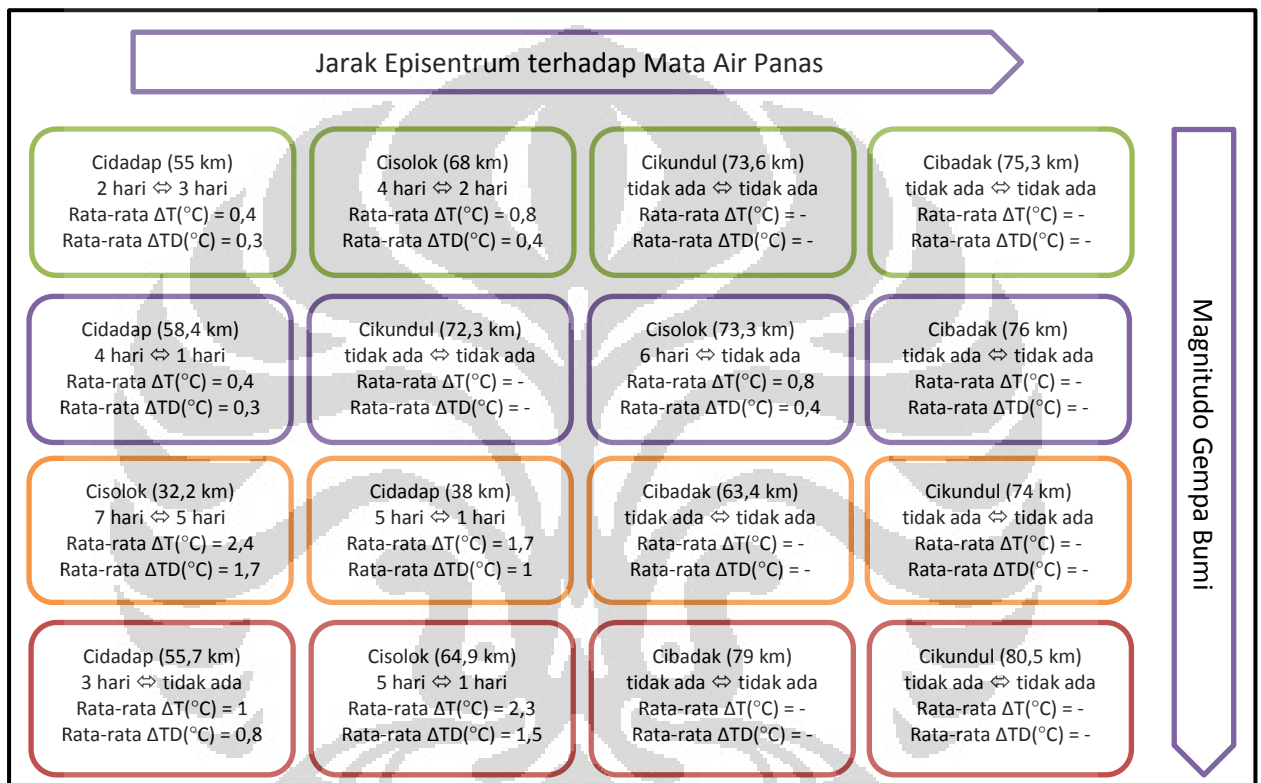
Dari ke empat mata air panas yang ada, mata air panas Cidadap merupakan mata air panas terdekat dengan jarak 58,4 km dari episentrum gempa bumi yang terjadi. Memiliki kesamaan dengan mata air panas Cisolok yang berjarak 73,3 km, beberapa jenis batuan yang dilewati antara lain adalah lapisan batuan sedimen alluvium, campuran kapur dan lempung, serta sebagian besar batuan beku yang berada di sekitar lokasi mata air panas.

Kedua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cikundul juga memiliki kesamaan dalam jenis batuan yang dilewati oleh gelombang seismik juga ditarik garis lurus. Mata air panas dengan jarak masing-masing 76 km dan 72,3 km dari episentrum gempa tersebut banyak didominasi oleh berbagai jenis batuan sedimen baik itu alluvium, kapur, pasir, serta lempung pada bagian awal hingga batuan beku yang banyak ditemui disekitar kedua mata air panas tersebut.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa faktor jarak bukanlah satu-satunya faktor yang mempengaruhi besaran gelombang seismik yang dicapai, tetapi juga jenis batuan yang dilewati karena terkait dengan adanya perbedaan kemampuan dari masing-masing jenis batuan dalam merambatkan gelombang seismik.

5.5 Asosiasi Aktivitas Gempa Bumi terhadap Perubahan Suhu Mata Air Panas

Berdasarkan catatan perubahan suhu mata air panas yang dilakukan serta perbandingan terhadap adanya aktivitas gempa bumi yang terjadi, dapat diketahui adanya perubahan pada suhu mata air panas tersebut menjelang ataupun sesudah terjadinya aktivitas gempa bumi. Bagaimana asosiasi antara kedua variabel tersebut dapat dilihat pada gambar 5.6 berikut:



Gambar 5.6 Perbandingan Suhu terhadap Jarak dan Magnitudo Gempa Bumi

Keterangan:

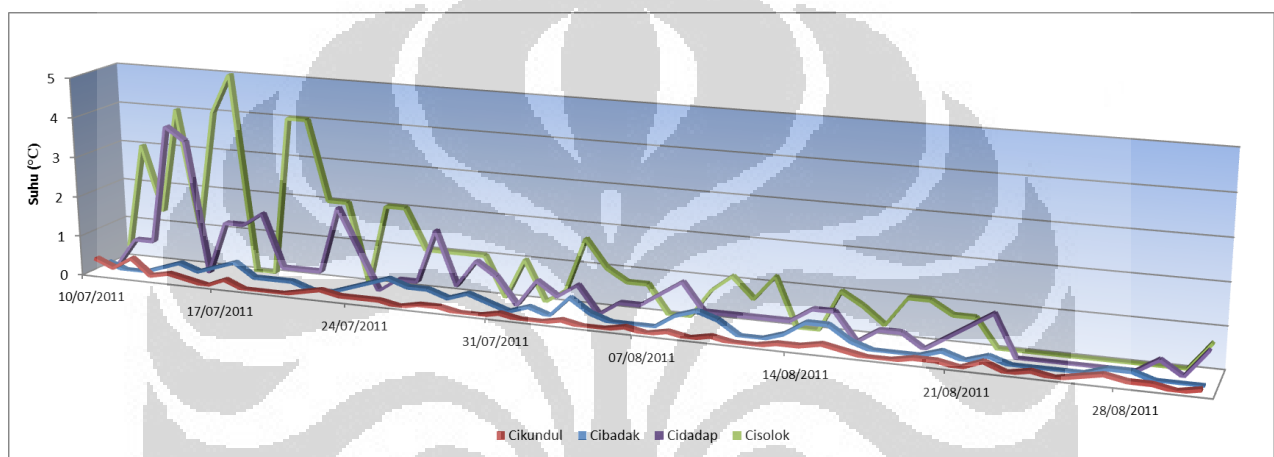
- x hari ⇔ x hari : waktu saat perubahan suhu mulai terlihat hingga setelah aktivitas gempa bumi
- $\Delta T(^{\circ}\text{C})$: perubahan suhu
- $\Delta TD(^{\circ}\text{C})$: perbedaan perubahan suhu terhadap nilai deviasi
- : Gempa bumi 19 Agustus magnitudo 4,9 SR
- : Gempa bumi 21 Agustus magnitudo 5,2 SR
- : Gempa bumi 17 Juli magnitudo 5,3 SR
- : Gempa bumi 24 Juli magnitudo 5,5 SR

[Sumber: Pengolahan Data 2012]

Pada gambar 5.1 dapat terlihat bagaimana perbandingan antara suhu terhadap jarak dan magnitudo gempa bumi yang terjadi. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa semakin jauh jarak antara episentrum gempa bumi maka pengaruh yang ditimbulkannya terhadap perubahan suhu akan semakin kecil. Pada gempa bumi

tanggal 17 Juli, terlihat mata air panas Cisolok dengan jarak terdekat mengalami perubahan suhu yang lebih besar dibandingkan mata air panas Cidadap.

Namun gambar 5.1 juga menunjukkan adanya faktor lain yang mempengaruhi perubahan suhu terkait dengan jarak pada setiap mata air panas tersebut, yaitu tingkat kesensitifan mata air panas. Walaupun jarak mata air panas terhadap episentrum gempa lebih dekat, jika tingkat kesensitifan mata air panas terhadap adanya aktivitas gempa bumi lebih rendah maka perubahan yang ditunjukkan pun akan lebih kecil dibandingkan mata air panas yang lebih sensitif. Perbedaan tingkat kesensitifan pada tiap mata air panas dapat terlihat pada grafik berikut.



Grafik 5.5 Besar Perubahan Suhu Mata Air Panas
[Sumber: Pengolahan Data 2012]

Grafik 5.5 memperlihatkan bahwa mata air panas Cisolok mengalami perubahan suhu yang paling besar dibandingkan dengan ketiga mata air panas lain, baik menjelang aktivitas gempa bumi maupun setelahnya. Hasil pengukuran pada saat aktivitas gempa bumi tanggal 24 Juli, 19 Agustus, dan 21 Agustus juga menunjukkan perubahan suhu mata air panas Cisolok lebih besar dibandingkan mata air panas lain, terutama dengan mata air panas yang lebih dekat terhadap episentrum gempa bumi.

Terkait dengan faktor magnitudo gempa bumi terhadap perubahan suhu, tampak tidak memberikan pengaruh yang cukup besar dengan perubahan suhu yang cenderung lebih terkait dengan faktor jarak. Hal ini mungkin disebabkan karena perbedaan besaran magnitudo yang tidak terlalu besar disamping adanya faktor lain seperti kedalaman pusat gempa bumi atau jenis batuan. Didasarkan pada jenis batuan, pada pembahasan sebelumnya dapat diketahui bahwa sebagian

besar jenis batuan yang ditemukan di daerah penelitian merupakan batuan beku (granit, basalt, andesit), serta batuan sedimen seperti kapur, lempung, dan pasir.

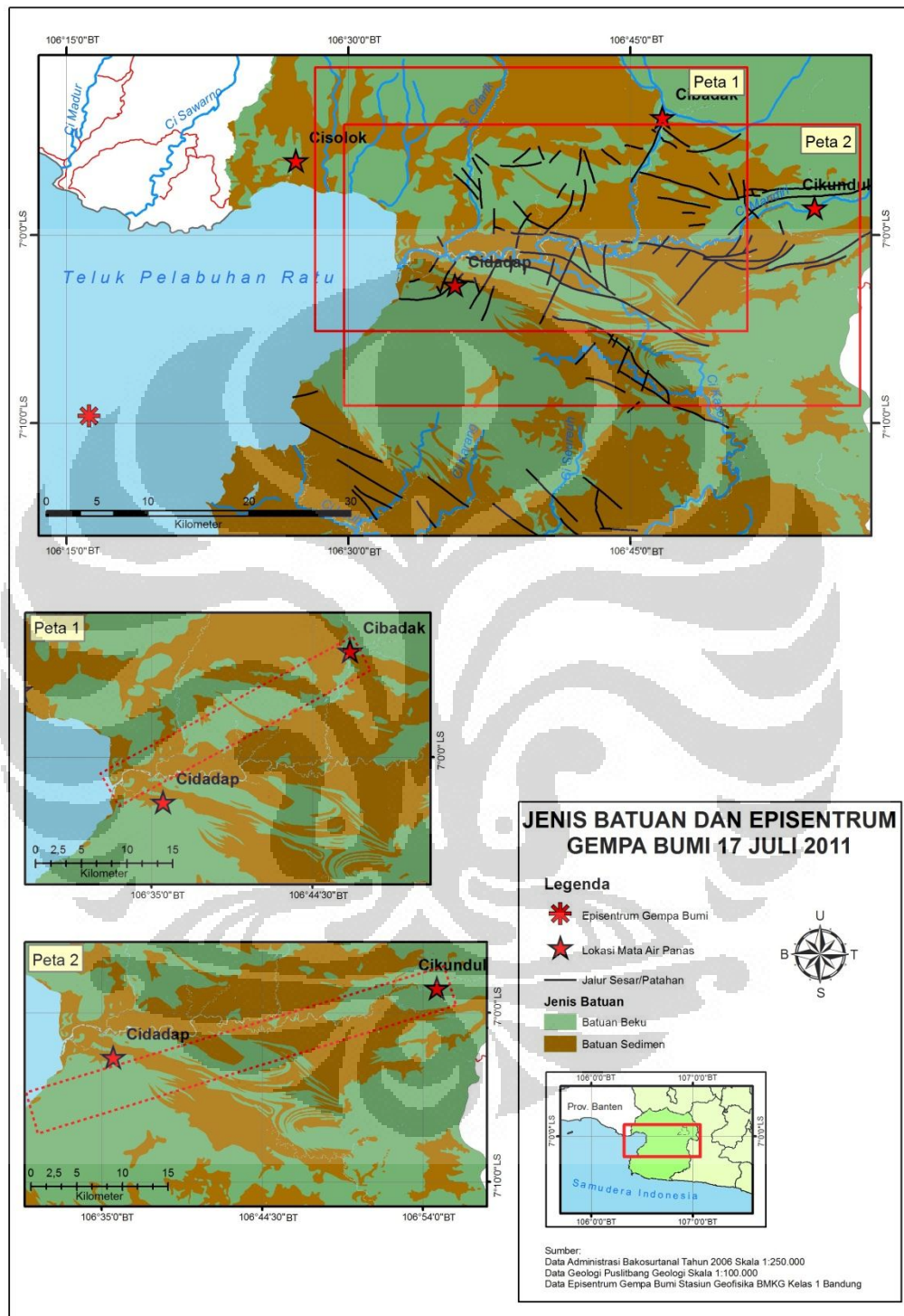
Seperti terlihat saat aktivitas gempa bumi tanggal 17 Juli 2011 terjadi, perubahan suhu mata air panas paling mencolok dapat terlihat pada mata air panas Cisolok dan Cidadap. Namun, perubahan suhu hanya terjadi pada mata air panas Cibadak sebesar $-0,3^{\circ}\text{C}$ sementara mata air panas Cikundul tidak mengalami perubahan. Gambar 5.7 memperlihatkan jika faktor jenis batuan sebagai medium perantara dalam merambatkan gelombang seismik memiliki pengaruh yang besar. Hal ini akan terlihat dengan adanya perbedaan jenis batuan yang mencolok antara episentrum-mata air panas Cibadak dibandingkan antara episentrum-mata air panas Cikundul.

Dominasi jenis batuan beku yang keras seperti granit, basalt, dan andesit dapat terlihat pada jarak antara episentrum gempa terhadap lokasi mata air panas Cibadak dibandingkan terhadap lokasi mata air panas Cikundul yang banyak didominasi oleh batuan sedimen. Pada aktivitas gempa bumi kedua tanggal 24 Juli 2011, lokasi episentrum berada di perairan sebelah selatan daerah penelitian dengan jarak episentrum yang lebih jauh dibandingkan pada aktivitas gempa bumi sebelumnya. Jenis batuan yang banyak ditemukan di bagian selatan dari daerah penelitian sendiri banyak didominasi oleh batuan sedimen, baik itu sedimen lempung, pasir, ataupun kapur.

Akibat kemampuan dari jenis batuan sedimen tersebut kurang sebagai medium penghantar gelombang seismik maka pengaruh yang terjadi pada perubahan suhu di ke empat mata air panas jauh lebih kecil dibandingkan dengan perubahan yang terjadi pada aktivitas gempa bumi sebelumnya. Hal ini diperkuat dengan banyaknya perbedaan jenis batuan yang akan semakin meningkatkan proses pelemahan dari gelombang seismik yang melewati batuan tersebut.

Jika dilihat dari stratigrafi atau lapisan batuan di daerah penelitian, beberapa mata air panas secara jelas berada di atas lapisan batuan yang memiliki ciri khusus dalam mempengaruhi besar gelombang seismik yang diterima akibat adanya aktivitas gempa bumi. Mata air panas Cidadap berada di atas formasi Jampang yang merupakan endapan vulkanik dengan batuan beku yang dominan. Sementara

lapisan dibawahnya merupakan batuan dari satuan formasi Rajamandala yang didominasi oleh batuan gamping dan kuarsa.



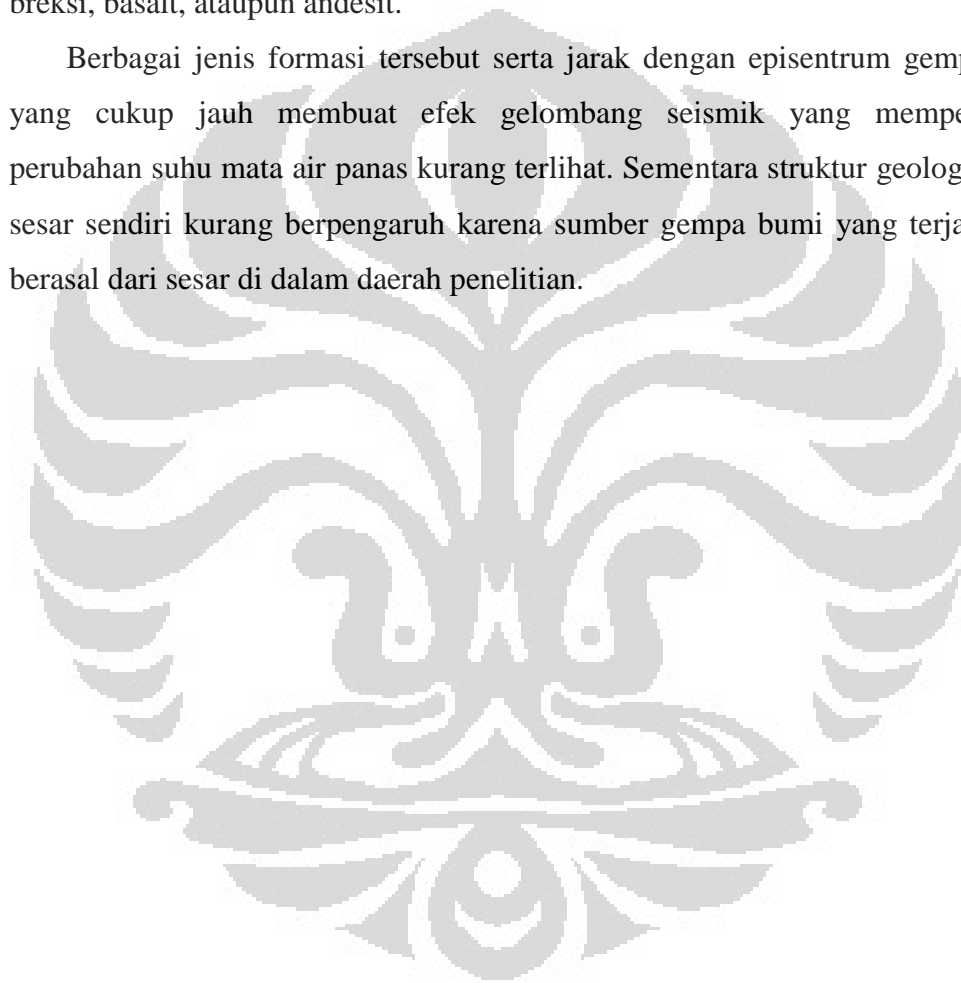
Gambar 5.7 Jenis Batuan dan Episentrum Gempa Bumi 17 juli 2011

[Sumber: Pengolahan Data Survey Lapang 2011]

Kedua jenis formasi ini, disertai dengan dekatnya lokasi mata air panas terhadap struktur geologi berupa sesar Cimandiri dan jarak terhadap episentrum

gempa bumi menjadi beberapa faktor yang membuat perubahan suhu mata air di Cidadap cukup besar. Sementara pada dua mata air panas lain yaitu Cibadak dan Cikundul, lokasi kedua mata air panas ini terletak cukup jauh ke pesisir pantai ataupun ke empat episentrum gempa bumi yang terjadi. Hasil perubahan suhu yang tercatat juga menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan yang besar dibandingkan pada mata air panas Cisolok dan Cidadap. Kedua mata air panas ini sendiri berada di atas formasi satuan batuan endapan gunung api yang terdiri dari breksi, basalt, ataupun andesit.

Berbagai jenis formasi tersebut serta jarak dengan episentrum gempa bumi yang cukup jauh membuat efek gelombang seismik yang mempengaruhi perubahan suhu mata air panas kurang terlihat. Sementara struktur geologi berupa sesar sendiri kurang berpengaruh karena sumber gempa bumi yang terjadi tidak berasal dari sesar di dalam daerah penelitian.



BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Terjadinya aktivitas gempa bumi mampu memberikan pengaruh terhadap perubahan suhu mata air panas. Perubahan suhu tersebut biasanya terjadi dalam kurun waktu 7 hari sampai 2 hari sebelum dan 1 hari sampai 2 hari sesudah terjadinya aktivitas gempa bumi. Tingkat perubahan suhu yang terjadi cukup besar dibandingkan standar perubahan suhu pada kondisi normal.

Perubahan suhu mata air panas akibat adanya aktivitas gempa bumi dapat diasosiasikan terhadap beberapa faktor yaitu jarak terhadap episentrum dan kondisi geologi di sekitarnya. Semakin dekat jarak lokasi mata air panas terhadap episentrum gempa maka perubahan suhu mata air panas yang tercatat akan semakin besar. Namun hal ini perlu didukung oleh faktor lain yaitu kondisi geologi seperti jenis batuan, lapisan batuan, serta struktur geologi.

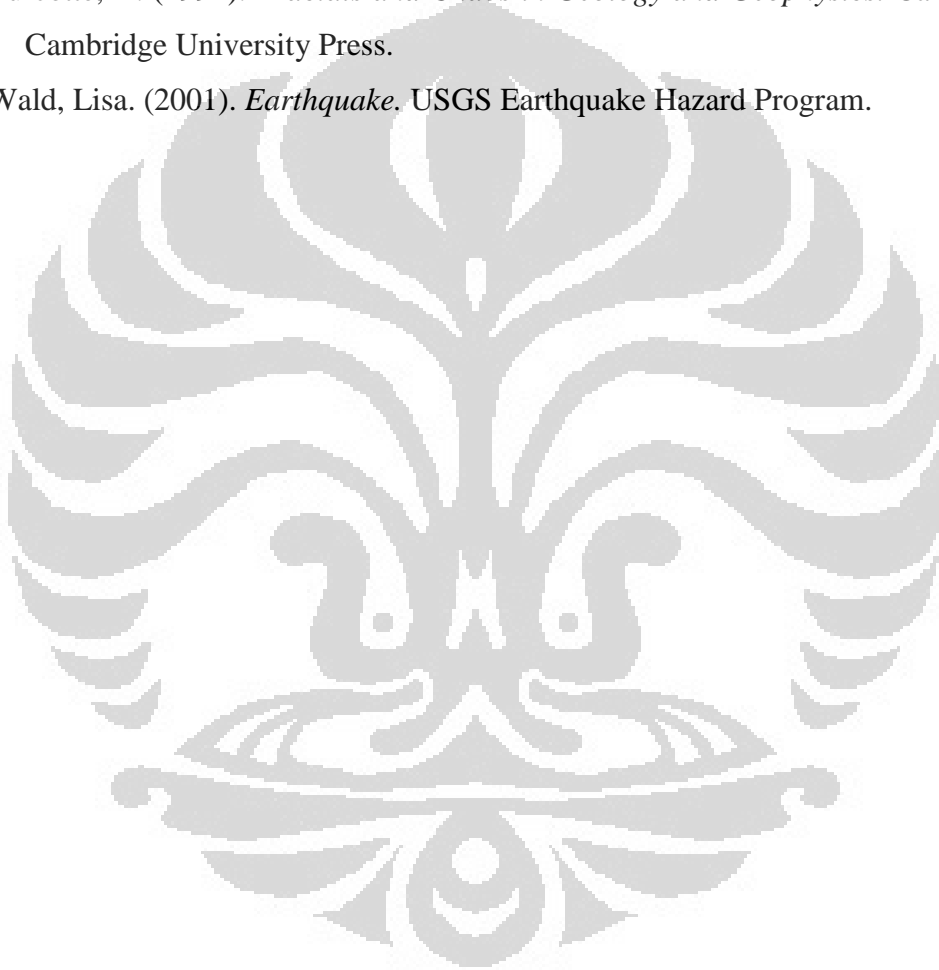
Berbagai lapisan batuan dapat mempengaruhi perambatan gelombang seismik yang tercipta dari adanya aktivitas gempa bumi akibat mengalami banyak proses pemantulan, pembiasan dan pelemahan gelombang. Hal ini terkait dengan adanya perbedaan kemampuan setiap jenis batuan sebagai medium perantara yang mempengaruhi cepat rambat gelombang seismik. Batuan beku memiliki kemampuan merambatkan gelombang seismik yang lebih baik seperti granit, basalt, dan andesit memberikan pengaruh perubahan suhu yang lebih besar dibandingkan dengan batuan sedimen. Keberadaan sesar sebagai bagian dari struktur geologi berpengaruh jika gempa bumi berasal dari sesar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrahadi, A. (1993). Tegasan Terbesar Sesar CImandiri Timur, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Proceeding 22nd Annual Convention Indonesian Association of Geologist*, (hal. 226-240).
- Bemmelen, R. V. (1949). *The Geology of Indonesia Vol 1A*. The Hague.
- Borok, V. K. (2002). Earthquake Prediction: State of The Art and Emerging Possibilities. *Annual Rev. Earth Planet Sciences*, 1-30.
- Burridge, R., & Knopoff, L. (1967). Model and Theoretical Seismicity. *Bulletin of Seismology Society*, hal. 341-371.
- Environment Canterbury. (2011). *Earthquake Impacts on Groundwater*. Christchurch: Environment Canterbury.
- Forestier, H. (2007). *Ribuan Gunung, Ribuan Alat Batu: Prasejarah Song Keplek, Gunung Sewu, Jawa Timur*. (G. Sirait, D. Perret, & I. Budipranoto, Penerj.) Paris: Kepustakaan Populer Gramedia.
- Hamilton, W. (1988). *Plate Tectonics and Island Arcs*. Geological Society of American Bulletin.
- Ilustrasi Gempa Bumi BMKG. Diakses pada 12 Juni 2012. <http://www.edukasi.net/bahanbelajar/pengetahuanppopuler/view=uniq343>
- Kagan, Y. (1996). VAN Earthquake Prediction: An Attempt at Statistical Evaluation. *Geophysics Res. Lett.*, 1315-1318.
- Kagan, Y. (1997). Are Earthquakes Predictable? *Geophysics Journal Intl.*, 505-525.
- Kagan, Y. (1997). Statistical Aspects of Parkfield Earthquake Sequence and Parkfield Prediction Experiment. *Tectonophysics*, 207-219.
- Kanamori, H. (2003). Earthquake Prediction: An Overview. Dalam *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. Pasadena: California Institute of Technology.
- Kanamori, H. (2005, May). Real-time Seismology and Earthquake Damage Mitigation. *Annual Review Earth Planet Sci.*, hal. 195-214.
- Katili, J. (1973). *Geologi*. Jakarta: Departemen Urusan Research Nasional.

- Knopoff, L. (1996). Earthquake Prediction: The Scientific Challenge. *Proceeding National Academy of Science*. Irvine, California.
- Mavko, G. (2003). *Conceptual Overview of Rock and Fluid Factors that Impact Seismic Velocity and Impedance*. Stanford Rock Physics Laboratory.
- Naryanto, H. S., & Wisyanto. (2005). Kajian dan Analisis Potensi Bencana Tsunami, Konfigurasi Pantai serta Mitigasi Bencana di Pantai Selatan Jawa Timur. *Alami*.
- Nishenko, S. (1989). Earthquakes: Hazards and Predictions. Dalam D. James, *The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Nishenko, S. (1991). Circum Pacific Seismic Potential: 1989-1999. *Pure Applied Geophysics*, 169-259.
- Noeradi, D., Villemin, T., & Rampnoux, J. (1991). Cenozoic Fault Systems and Paleostress Along the Cimandiri Fault Zone, West Java, Indonesia. *Proceeding of The Silver Jubilee Symposium* (hal. 233-253). Jakarta: Research and Development Center for Geotechnology, LIPI.
- Reid, H. (1910). *The Mechanism of Earthquake*. Washington DC: Carnegie Institution.
- Santosa, L. W. (2006). *Kajian Hidrogeomorfologi Mata Air di Sebagian Lereng Barat Gunungapi Lawu*. Yogyakarta: Departemen Geografi Fisik, Universitas Gajah Mada.
- Satoh, S. (2005). *Groundwater Anomalies Related to The 2004 Niigata Chuetsu Earthquake*. Niigata University.
- Satoshi, I., & Koizumi, N. (2007). Earthquake-related Changes in Groundwater Levels at the Dogo Hot Spring, Japan. *Pure Applied Geophysics*, 2397-2410.
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell Publishing.
- Supartoyo. (2008). *Tektonik Aktif Sesar Cimandiri, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Supartoyo, Putranto, E., & Surono. (2006). *Katalog Gempa Bumi Merusak Indonesia Tahun 1629-2006*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

- Supriatna. (2009). Persebaran Bentuk Mata Air Panas di Daerah Rawan Gempa Bumi Sesar Cimandiri. *Seminar Nasional Geomorfologi*. Jakarta.
- Suwijanto. (1978). Hubungan antara Kegempaan dengan Kelurusan Struktur pada Citra Landsat di Daerah Jawa Barat. *Majalah Riset Geologi dan Pertambangan*.
- Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Todd, D. (1980). *Ground Water Hydrology*. New York: John Wiley & Sons.
- Turcotte, D. (1992). *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wald, Lisa. (2001). *Earthquake*. USGS Earthquake Hazard Program.





Catatan Suhu Mata Air Panas Juli-Oktober 2011

Tanggal	Mata Air Panas															
	Cibadak (°C)				Cikundul (°C)				Cisolok (°C)				Cidadap (°C)			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
08/07/2011	38	38	38,5	38,2	60	60	60	60	-	-	-	-	-	-	-	-
09/07/2011	38,5	38,5	38	38,3	62	62	62	62	-	-	-	-	-	-	-	-
10/07/2011	39	38,5	38	38,5	62	62	62	62	89	89	89	89	50	50	50	50
11/07/2011	39	38	38	38,3	62	62	62	62	89	89	90	89,3	50	50	50	50
12/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	85	85	89	86,3	50	50	52	50,7
13/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	85	85	85	85	50	50	50	50
14/07/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	89	89	89	89	50	55	56	53,7
15/07/2011	39	38	38,5	38,5	63	63	63	63	90	90	90	90	50	50	51	50,3
16/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	94	94	94	94	50	50	51	50,3
17/07/2011	38	38	38	38,0	63	63	63	63	89	89	89	89	50	52	53	51,7
18/07/2011	39	38	38,5	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	50	51	50	50,3
19/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
20/07/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	85	85	85	85	51	52	52	51,7
21/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	51	52	51,3
22/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	87	87	87	87	51	51	51	51
23/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	52	53	54	53
24/07/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	52	52	52	52
25/07/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	87	87	87	87	51	52	53	52
26/07/2011	39	38,5	38,5	38,7	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	52	51,7
27/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	90	90	90	51	51	52	51,3

Tanggal	Mata Air Panas															
	Cibadak (°C)				Cikundul (°C)				Cisolok (°C)				Cidadap (°C)			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
28/07/2011	38	38	38	38,0	63	63	63	63	89	89	89	89	52	53	54	53
29/07/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	89	89	89	89	52	53	53	52,7
30/07/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	52	51,7
31/07/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	52	52	53	52,3
01/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	90	90	90	52	52	53	52,3
02/08/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	90	90	90	90	51	52	52	51,7
03/08/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	89	90	90	89,7	51	51	52	51,3
04/08/2011	39	38,5	38,5	38,7	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
05/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
06/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	52	52	53	52,3
07/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
08/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	51	51	52	51,3
09/08/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	89	89	89	89	52	52	53	52,3
10/08/2011	39	38,5	38,5	38,7	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
11/08/2011	38,5	38,5	38	38,3	63	63	63	63	90	90	90	90	51	52	52	51,7
12/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
13/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	51	53	51,7
14/08/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	89	89	89	89	51	51	52	51,3
15/08/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
16/08/2011	38	38,5	38	38,2	63	63	63	63	90	90	90	90	51	51	52	51,3
17/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	90	90	90	51	51	52	51,3
18/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	90	90	90	51	52	52	51,7

Tanggal	Mata Air Panas															
	Cibadak (°C)				Cikundul (°C)				Cisolok (°C)				Cidadap (°C)			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
19/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	90	90	90	51	52	53	52
20/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
21/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	52	51,7
22/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	50	51	52	51
23/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
24/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
25/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
26/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
27/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
28/08/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
29/08/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	51	52	53	52
30/08/2011	38,5	38,5	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	52	52	53	52,3
31/08/2011	38,5	38,5	38	38,3	63	63	63	63	89	89	89	89	52	52	53	52,3
01/09/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	52	51,7
02/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52
03/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52
04/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52
05/09/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52
06/09/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
07/09/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52
08/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	52	51,7
09/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52

Tanggal	Mata Air Panas															
	Cibadak (°C)				Cikundul (°C)				Cisolok (°C)				Cidadap (°C)			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
10/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	53	52
11/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
12/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
13/09/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
14/09/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
15/09/2011	38,5	38,5	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	51	50,7
16/09/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	52	51
17/09/2011	38,5	38	38	38,2	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	51	50,7
18/09/2011	38,5	38,5	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	51	50,7
19/09/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	52	51
20/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	51	50,7
21/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	51	50,7
22/09/2011	39	38	38	38,3	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
23/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	50	51	52	51
24/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	52	51,3
25/09/2011	39	38,5	38	38,5	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	52	52	51,7
26/09/2011	39,5	38,5	38	38,7	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	51	51
27/09/2011	39,5	38,5	38	38,7	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	51	51
28/09/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	51	51
29/09/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	51	51
30/09/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	90	89	90	89,7	51	51	51	51
01/10/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51

Tanggal	Mata Air Panas															
	Cibadak (°C)				Cikundul (°C)				Cisolok (°C)				Cidadap (°C)			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
02/10/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51
03/10/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51
04/10/2011	39,5	39	38	38,8	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51
05/10/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51
06/10/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	98	98	98	98	52	52	52	52
07/10/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	52	51,3
08/10/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51
09/10/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51
10/10/2011	39	39	38	38,7	63	63	63	63	98	98	98	98	51	51	51	51

[Sumber: Survey Lapang 2011]