

# AKTIVITAS SESAR LEMBANG DI UTARA CEKUNGAN BANDUNG

## LEMBANG FAULT ACTIVITIES IN NORTH BANDUNG REGION

Rasmid

Stasiun Geofisika Klas I Bandung, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika  
Jalan Cemara No.66 Bandung 40161 Telp.(022)2031881,Fax.(022)2036212  
E-mail : rasmid@bmkgo.id

Naskah masuk: 29 Januari 2014; Naskah diperbaiki: 09 Oktober 2014; Naskah diterima: 20 Nopember 2014

### ABSTRAK

Sesar Lembang yang membentang mulai dari Gunung Manglayang di bagian Timur hingga Cisarua di bagian barat yang panjangnya sekitar 22 km diduga merupakan sesar yang masih aktif. Untuk membuktikannya, maka dipasang 4 buah seismometer disekitar Sesar Lembang yaitu di Ciater, Tangkuban Perahu, Cimenyan dan di Lembang mulai Mei 2010 – Agustus 2013. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menentukan lokasi *hypocenter* gempa bumi yang lebih presisi, serta menentukan mekanisme sumber gempa bumi. Untuk mengetahui posisi gempa bumi-gempa bumi tersebut, maka dilakukan proses pengolahan penentuan pusat gempa bumi yaitu metoda tiga lingkaran, direlokasi lagi dengan metoda *single event determination* dan *joint hypocenter determination*, dan penentuan mekanisme sumbernya dengan menggunakan *software* isola. Gempa bumi-gempa bumi terkonsentrasi pada kedalaman 3-4 km, sebagian lagi tersebar pada kedalaman 6-7 km. Berdasarkan data mekanisme sumber, maka gempa bumi-gempa bumi yang terjadi, terdiri dari gempa bumi yang dihasilkan oleh Sesar Lembang bagian atas yaitu berupa gempa bumi-gempa bumi tipe *strike slip*, serta gempa bumi dengan kedalaman 6-7 km dengan tipe pensesaran naik (*thrusting*). Selain itu juga terdapat gempa bumi-gempa bumi yang dihasilkan oleh sesar-sesar sekunder yang berarah timur laut dengan tipe pensesaran *normal*. Berdasarkan data diatas, maka Sesar Lembang merupakan sesar yang masih aktif.

**Kata kunci:** Sesar Lembang, Cekungan Bandung, *single event determination*.

### ABSTRACT

*Lembang Fault which extends from Manglayang mount in the east to Cisarua in the West, which long about 22 km is thought to be the fault is still active. To prove it, then to install 4 seismometers around Lembang fault Ciater, Tangkuban Perahu, Cimenyan and in Lembang nd began in May 2010 - August 2013. The purpose of this study is to determine the hypocenter location, and to determine the mechanism of the earthquake source. To locate the earthquakes, we used 3 circles method, relocated used single event determination method and joint hypocenter determination method, and processed with the software mechanism isola source. Earthquakes are concentrated at depths of 3-4 km, partly scattered at a depth of 6-7 km. Based on the source mechanism data, the earthquakes that occurred consisted of earthquakes produced by the upper Lembang fault of earthquakes strike slip type, and the depth earthquakes 6-7 km with thrusting type. There are also earthquakes generated by second faults with northeast trending normal type. Based on the above data, it Lembang fault is an active.*

**Keywords:** *Lembang fault, Bandung Basin, single event determination.*

## 1. Pendahuluan

Sesar Lembang terletak sekitar 10 km di utara kota Bandung dan memanjang dengan arah barat - timur melalui kota Lembang. Tingkat aktivitas Sesar Lembang belum diketahui dengan baik, sehingga diperlukan penelitian yang lebih terintegrasi dari beberapa metoda antara lain dengan metoda seismik, metoda gaya berat, serta metoda deformasi.

Berdasarkan data GPS, Sesar Lembang merupakan sesar yang masih aktif hal ini dibuktikan dengan masih adanya pergeseran sesar walaupun pergeserannya sangat kecil yaitu dengan laju rata-rata

sekitar 0.3 sampai 1.4 cm/tahun dibandingkan dengan pergeseran lempeng Indo-Australia terhadap pulau Jawa (lempeng Eurasia) yang mencapai 6 - 7 cm dalam setahun [1]. Namun demikian walaupun pergeserannya sangat kecil sekali, ini merupakan indikator bahwa Sesar Lembang masih aktif. Pendapat ini menguatkan hasil penelitian sebelumnya, dengan temuan di bidang *paleoseismologi*, yaitu ditemukan *sagpond* di sekitar gawir sesar, serta ditemukan juga tulang/rangka hewan, batang-batang pohon serta jenis biji-bijian di sekitar patahan Lembang. Yulianto berpendapat bahwa kuburan massal hewan, batang-batang pohon serta jenis biji-bijian ini dikarenakan oleh longsoran

dengan volume yang cukup besar/area longsoran cukup luas serta mendadak sekali sehingga hewan-hewan tersebut tidak dapat menyelamatkan diri. Longsoran ini mungkin disebabkan oleh gempa bumi yang terjadi waktu itu, sebab lokasi longsornya tepat di dekat bidang patahan [2]. Penelitian lainnya yang mendukung pendapat bahwa Sesar Lembang masih aktif yaitu adanya sungai yang terpotong, kemudian makin lama sungai tersebut terpisah satu sama lain [3]. Dari beberapa hal di atas mengindikasikan bahwa Sesar Lembang merupakan sesar yang masih aktif. Berdasarkan hal di atas, maka kami ingin melakukan penelitian apakah Sesar Lembang masih aktif atau tidak dari sudut seismologi. Untuk menentukan tingkat kegempaan/seismisitas di Sesar Lembang, maka penulis memasang seismometer sebanyak empat buah disekitar Sesar Lembang yaitu dua buah di utara patahan dan dua buah di selatan patahan.

Penelitian ini difokuskan pada penentuan hiposenter gempa bumi di sekitar Sesar Lembang dengan metoda Grafis Tiga Lingkaran, *Single Event Determination*, *Joint Hypocenter Determination* serta menentukan mekanisme di sumber gempa bumi. Dalam menentukan akurasi hiposenter gempa bumi tergantung pada beberapa faktor diantaranya yaitu geometri stasiun pencatat, akurasi pembacaan waktu tiba gelombang di stasiun pencatat, fasa gelombang yang tersedia, dan pengetahuan tentang struktur geologi pada daerah studi [4]. Untuk skala lokal, faktor geometri ketersediaan data bisa diperbaiki dengan menambah jumlah stasiun pengamat pada daerah penelitian. Faktor kesalahan model kecepatan gelombang seismik dan penentuan waktu tiba dapat diminimalkan dengan analisis yang lebih lanjut. Model kecepatan gelombang seismik bawah permukaan tidak bisa ditentukan secara pasti karena keterbatasan data dan kompleksitas struktur bawah permukaan. Oleh karena itu, diperlukan model sederhana bawah permukaan untuk menentukan posisi gempa dengan baik.

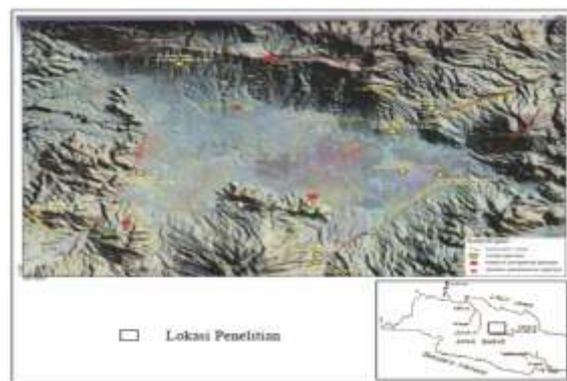
Dalam penelitian ini kami memberikan beberapa batasan yaitu:

1. Seismometer yang ditempatkan di batuan dasar andesit yaitu di Pencut Lembang dan Cimenyan, dijadikan sebagai acuan dalam proses *picking* gelombang P dan S, karena *nois*nya relatif kecil dibandingkan dengan stasiun lain yaitu stasiun di Tangkubanperahu.
2. Penentuan posisi gempa menggunakan model kecepatan gelombang seismik sembilan lapisan yang didapatkan dari pendekatan hasil pendekatan geologis.
3. Gempa lokal yang diidentifikasi merupakan gempa yang dihasilkan dari Sesar Lembang yang direkam oleh empat seismometer di sekitar Sesar Lembang dan memiliki nilai  $t_s - t_p$  kurang dari 5 detik.

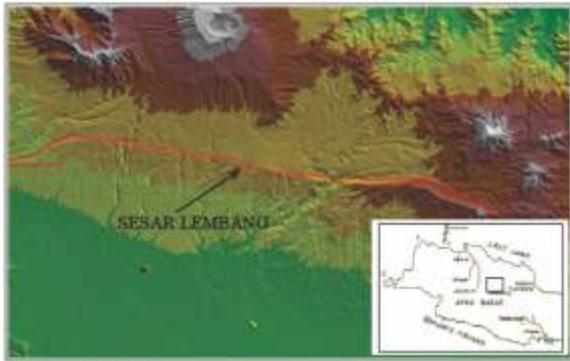
Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan lokasi hiposenter awal gempa bumi dengan metoda tiga lingkaran, kemudian *Single Event Determination* dilanjutkan relokasi hiposenter dengan metoda *Joint Hypocenter Determination* dan menentukan mekanisme sumber di pusat gempa bumi.

**Tektonik Sesar Lembang.** Secara geologis, Sesar Lembang adalah satu *landmark* yang paling menarik di dataran tinggi Bandung yang terletak di lereng sebelah selatan dari gunung Tangkuban Perahu dan merupakan ekspresi geomorfologi yang jelas dari neotektonik di cekungan Bandung [5]. Secara morfologi Sesar Lembang diekspresikan berupa gawir sesar (*fault scarp*) dengan dinding gawir menghadap ke arah utara. Patahan Lembang yang terbentuk pada jaman *kuarter pleistosen* (sekitar 500.000 tahun yang lalu). Sejarahnya jaman dulu gunung api raksasa Sunda meledak dan meruntuhkan tubuhnya kemudian menyisakan sedikit gunung parasitnya. Akibat runtuhnya gunung api tersebut maka terjadi kekosongan penampung magmatis yang mengakibatkan batuan dari erupsi gunung api Sunda patah. Patahan tersebut memanjang dari timur ke barat, dimana patahan timur mengalami penerununan lebih terlihat dibandingkan dengan bagian barat.

Sesar Lembang seperti terdapat pada gambar 1 dan 2, merupakan fenomena menarik di bagian utara Cekungan Bandung, sehingga menarik perhatian para pemerhati lingkungan, pemerhati kebencanaan geologi serta para peneliti di bidang seismologi. Menurut Tjia, Sesar Lembang adalah sesar mengiri (*sinistral*) yang juga memiliki komponen sesar menurun (*normal*), dengan rasio rata-rata antara *strike slip* dan *dip slip* sekitar dua banding satu [6]. Sedangkan menurut Natawidjaya [7], Sesar Lembang merupakan sesar geser (*strike slip*), ini dibuktikan dengan adanya beberapa sungai yang dulunya merupakan satu sungai utuh, terpisah dengan jarak beberapa meter dari perkiraan posisi awal.



Gambar 1. Sesar di sekitar cekungan Bandung [2].



Gambar 2. Kenampakan Sesar Lembang yang membentang sepanjang 22 km. [3]

## 2. Metode Penelitian

Sebelum menentukan posisi pusat gempa bumi, parameter dasar yang ditentukan dulu adalah waktu terjadinya gempa bumi atau *origin time*. Penentuan waktu terjadinya gempa bumi menggunakan diagram Wadati, yaitu memplot antara selisih waktu kedatangan gelombang P dan gelombang S, terhadap waktu kedatangan gelombang P.

Dalam penelitian ini, untuk menentukan posisi gempa bumi menggunakan *single event determination* dan *joint hypocenter determination*. Prinsipnya hampir sama yaitu menggunakan prinsip *Geiger*, yaitu langkah pengerjaan *iterasi* dengan optimasi *leastsquare* dalam penentuan lokasi *hypocenter*. *Single Event Determination* merupakan metoda penentuan lokasi *hypocenter* dengan menggunakan data *travel time* dari masing-masing *event* gempa bumi ke setiap stasiun pencatat, kemudian di *inversi* setiap *event* gempa bumi tersebut. Berbeda dengan *single event determination*, *joint hypocenter determination* menginversi beberapa gempa bumi secara simultan. Metoda *joint hypocenter determination*, selain mengupdate parameter gempa bumi, metoda ini juga menghasilkan koreksi stasiun dan model kecepatan gelombang yang baru yang merupakan hasil *inversi*. Koreksi stasiun merupakan koreksi waktu tiba gelombang akibat dari keheterogenan medium yang tidak diperhitungkan pada model kecepatan 1D, khususnya keheterogenan secara *lateral*.

Dalam formulasi permasalahan *inversi* perlu ditentukan *parameterisasi* yang digunakan dengan memilih *variabel* yang merepresentasikan data dan parameter model. Hal ini penting mengingat hasil atau solusi *inversi* sangat tergantung pada pemilihan *parameterisasi*. Pada kasus *inversi linier* dengan kesalahan data yang terdistribusi normal, solusinya *invarian* terhadap transformasi *variabel* yang bersifat linier. Dengan kata lain perubahan *parameterisasi* data dan parameter model secara linier dapat menghasilkan solusi yang sama dengan solusi sebelum transformasi. Namun, pada banyak kasus

tidak ada ketentuan yang spesifik mengenai pemilihan *parameterisasi* sehingga hal tersebut dapat menimbulkan masalah [8].

Jika data observasi adalah  $d$  dan *parameterisasi* model  $m$ , maka secara umum hubungan antara data observasi dan parameter model dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$d = g(m) \quad (1)$$

Dimana  $g$  merupakan fungsi umum pemodelan ke depan (*forward modeling*) yang memetakan model menjadi besaran dalam domain data atau fungsi  $g$  memungkinkan kita memprediksi data untuk suatu model  $m$  tertentu.

Untuk kasus penentuan *hypocenter* gempa bumi, data observasinya adalah waktu tiba suatu gelombang misalnya gelombang P,  $d = (t_1, t_2, \dots, t_n)$  dari  $n$  stasiun pencatat gempa bumi dan parameter yang dicari *hypocenter* gempa bumi yaitu  $m = (x, y, z, t_0)$ . Dalam *inversi* ide dasarnya adalah perhitungan secara modeling (*tcal*) sebagai fungsi dari parameter  $m$  mendekati data observasi  $d$ . *Single Event Determination* (SED) maupun *Joint Hypocenter Determination* (JHD) merupakan metoda penentuan lokasi *hypocenter* dengan menggunakan data *travel time* dari masing-masing *event* gempa ke setiap stasiun pencatat. Pada penelitian ini, SED maupun JHD menggunakan teori dan prinsip *iterasi* dengan menggunakan optimasi *least square* dalam penentuan lokasi *hypocenter*.

Penentuan parameter mekanisme sumber dapat dilakukan dengan dua cara yaitu analisa polarisasi gelombang P (impuls pertama) serta *inversi tensor moment*. Penentuan dengan impuls pertama gelombang P lebih bersifat subyektif, apalagi jika konfigurasi/geometri sensornya tidak merata, sedangkan penentuan dengan *inversi tensor moment* relatif lebih obyektif dalam menentukan model sumber gempa bumi, karena berhubungan linier dengan parameter yang terukur di seismometer yaitu perpindahan (*displacement*). *Displacement* berhubungan secara linier terhadap *Moment Tensor* sehingga memungkinkan untuk melakukan *inversi* dengan mudah dari data gelombang seismik untuk mendapatkan mekanisme sumber melalui metode "*Least Square*" [9]. *Moment Tensor* ( $M$ ) ditentukan melalui kombinasi pasangan gaya (*force couples*) dan *dipole* gaya (*force dipole*), dalam bentuk matrik seperti pada persamaan dibawah ini.

$$M = \begin{pmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Elemen non diagonal dari tensor momen adalah gaya momen dari pasangan gaya, sedangkan elemen diagonal merupakan *dipole* gaya. Gempa bumi lebih

tepat ditinjau dalam kombinasi dua pasangan gaya (*double couple*). Dengan kombinasi elemen tensor yang sama dapat menghasilkan dua jenis patahan yang berbeda, contohnya patahan mendarat (*strike slip*) yaitu  $M_{12}$  dan  $M_{21}$  sama dengan *dekstral* maupun *sinistral*. Dalam suatu bidang patahan, semua mekanisme gempa dapat ditentukan oleh vektor gaya normal, vektor slip dan seismik momen. Gambaran umum dari tensor momen dan geometri patahan diberikan dalam gambar 3.

Dengan  $n$  adalah vector normal dari bidang patahan,  $d$  adalah *vector slip*,  $M_0$  adalah momen seismik. Secara umum gelombang seismik yang terekam di stasiun ( $k$ ) dapat diekspresikan sebagai konvolusi antara sumber ( $S_k$ ), propagasi ( $P_k$ ) dan respon instrument ( $I_k$ ), sebagaimana dijelaskan dengan rumusan [9].

$$U_k(t) = I_k * P_k(t) * S_k(t) \quad (3)$$

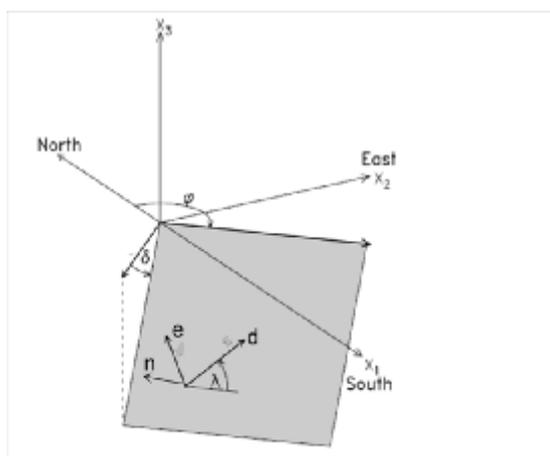
Sumber  $S_k(t)$  merupakan elemen tensor momen ( $M_{xx} + M_{yy} + M_{zz} + M_{xy} + M_{yz} + M_{xz}$ )

$$S_k(t) = (G_{xx}^k M_{xx} + G_{yy}^k M_{yy} + G_{zz}^k M_{zz} + G_{xy}^k M_{xy} + G_{yz}^k M_{yz} + G_{xz}^k M_{xz}) f(t) \quad (4)$$

Dimana koefisien  $G$  sering disebut fungsi eksitasi dan dihitung menggunakan referensi model bumi. Fungsi eksitasi berbeda berdasarkan tipe gelombang seismik, untuk gelombang P fungsi eksitasinya sebagai berikut:

$$G^k = \begin{pmatrix} G_{xx}^k \\ G_{yy}^k \\ G_{zz}^k \\ G_{xy}^k \\ G_{yz}^k \\ G_{xz}^k \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} \sin^2 i \cos^2 \phi \\ \sin^2 i \sin^2 \phi \\ -\sin^2 i \\ \sin^2 i \sin 2\phi \\ \sin 2i \sin \phi \\ \sin 2i \cos \phi \end{pmatrix}^T \quad (4)$$

Dimana  $i$  adalah sudut *take off* dan  $\phi$  adalah *azimuth* dari sumber ke stasiun. Fungsi eksitasi gelombang P bergantung pada referensi model bumi, hubungan linier ini penting untuk menghitung tensor momen.



Gambar 3. Model geometri patahan [9].

Ketika kita menentukan sumber gelombang P dari gempa berdasarkan observasi dan mengoreksinya dengan propagasi gelombang P yaitu  $P_1(t)$  dan respon instrument  $I_k(t)$ , maka diperoleh persamaan linier dengan 6 elemen yang belum diketahui ( $M_{xx} + M_{yy} + M_{zz} + M_{xy} + M_{yz} + M_{xz}$ ), sehingga :

$$\begin{aligned} S_1(t) &= (G_{xx}^1 M_{xx} + G_{yy}^1 M_{yy} + G_{zz}^1 M_{zz} + G_{xy}^1 M_{xy} + G_{yz}^1 M_{yz} + G_{xz}^1 M_{xz}) \\ S_2(t) &= (G_{xx}^2 M_{xx} + G_{yy}^2 M_{yy} + G_{zz}^2 M_{zz} + G_{xy}^2 M_{xy} + G_{yz}^2 M_{yz} + G_{xz}^2 M_{xz}) \\ S_3(t) &= (G_{xx}^3 M_{xx} + G_{yy}^3 M_{yy} + G_{zz}^3 M_{zz} + G_{xy}^3 M_{xy} + G_{yz}^3 M_{yz} + G_{xz}^3 M_{xz}) \\ &\vdots \\ S_n(t) &= (G_{xx}^n M_{xx} + G_{yy}^n M_{yy} + G_{zz}^n M_{zz} + G_{xy}^n M_{xy} + G_{yz}^n M_{yz} + G_{xz}^n M_{xz}) \end{aligned} \quad (6)$$

Dalam bentuk matrik akan tersusun atas

$$S = G X \quad (7)$$

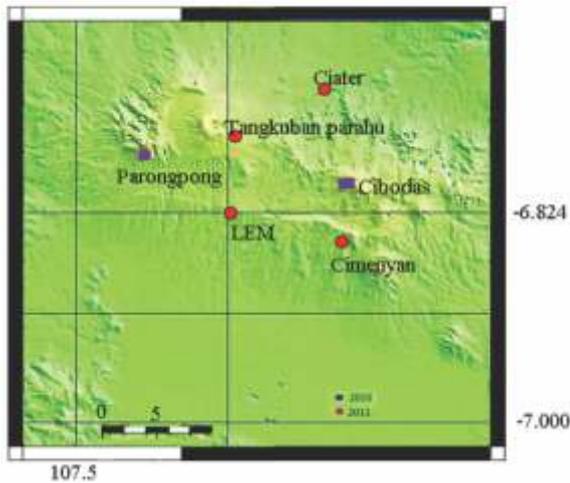
$$S = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_n \end{pmatrix}; X = \begin{pmatrix} M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{zz} \\ M_{xy} \\ M_{yz} \\ M_{xz} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$G = \begin{pmatrix} G_{xx}^1 & G_{yy}^1 & G_{zz}^1 & G_{xy}^1 & G_{yz}^1 & G_{xz}^1 \\ G_{xx}^2 & G_{yy}^2 & G_{zz}^2 & G_{xy}^2 & G_{yz}^2 & G_{xz}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{xx}^n & G_{yy}^n & G_{zz}^n & G_{xy}^n & G_{yz}^n & G_{xz}^n \end{pmatrix} \quad (9)$$

Dengan menerapkan metode penyelesaian persamaan *laest square*, maka dapat dihitung nilai tensor momen sebagai berikut :

$$X = (G^T G)^{-1} G^T S \quad (10)$$

Secara umum pendekatan diatas disebut *inversi tensor momen* [9]. Dalam penelitian ini lokasinya di utara cekungan Bandung, tepatnya disekitar Sesar Lembang mulai dari ujung timur yaitu gunung Manglayang hingga bagian barat di sekitar Cisarua. Adapun waktu penelitiannya yaitu mulai dari Mei 2010 sampai Mei 2013. Dalam pengambilan data kita memasang seismograph disekitar Sesar Lembang, dimana peralatan tersebut mencatat/merekam setiap getaran selama 24 jam dalam sehari. Pengambilan datanya dapat dilakukan sesuai kebutuhan, perhari, perminggu ataupun perbulan disesuaikan dengan ada tidaknya gempa bumi yang terjadi yang disebabkan oleh Sesar Lembang tersebut. Apabila data telah tersedia, maka dilakukan pengolahan data, mulai dari penentuan waktu tiba gelombang primer maupun sekundernya, kemudian diolah dengan beberapa metoda yaitu metoda tiga lingkaran, metoda relokasi serta penentuan mekanisme sumber gempabuminya. Adapun jaringan seismometernya seperti pada gambar 4.

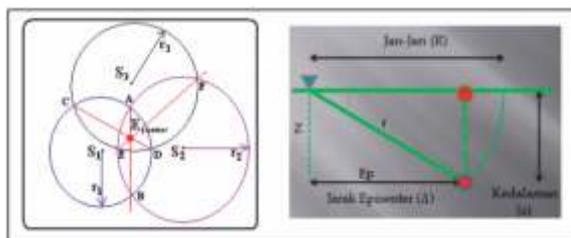


Gambar 4. Lokasi Seismograph

Lokasi gempa bumi didefinisikan oleh tiga koordinat ruang  $(x,y,z)$ . Hiposenter adalah titik di dalam bumi tempat bermulanya gempa bumi. Untuk mendapatkan hiposenter secara garis besar ada dua metoda yang biasanya digunakan yaitu metoda grafis dan metoda *inversi*. Metoda grafis salah satunya adalah metoda garis berat tiga lingkaran seperti pada gambar 5. Dalam Metoda garis berat tiga lingkaran, data yang digunakan adalah data waktu tiba gelombang P dan S dari beberapa stasiun pencatat minimal tiga stasiun pencatat.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

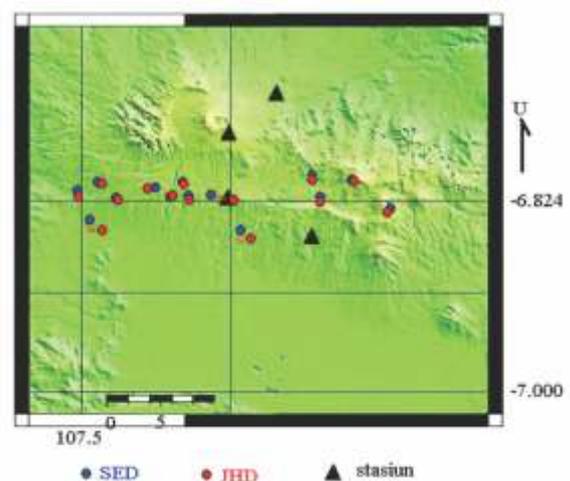
Sesar Lembang membentang dari bagian timur mulai Gunung Manglayang hingga ke wilayah barat yaitu Parongpong, Cisarua serta melewati kota Lembang, yang mempunyai panjang sekitar 22 km. Sesar ini terbagi menjadi dua segmen yaitu segmen barat dan segmen timur yang terbentuk dalam waktu yang berbeda [3,10]. Segmen timur terbentuk lebih awal yaitu 200.000 tahun yang lalu, sedangkan *segmen* barat yang terbentuk 27.000 tahun yang lalu, jadi *segmen* timur umurnya lebih tua dibandingkan *segmen* barat. Kedua *segmen* tersebut bertemu di wilayah bagian tengah tepatnya di perbukitan sekitar Gunung Batu-Boscha, kedua segmen ini tidak tepat segaris, tetapi membentuk *offset* sekitar 200 – 300 meter [3].



Gambar 5. Penentuan episenter metoda titik berat lingkaran.

Jika dilihat dari sebaran hasil lokalisasi dengan metoda tiga lingkaran, tampak episenternya menyebar jauh dari sesar, hal ini disebabkan karena menggunakan model kecepatan yang hanya satu lapis yaitu sekitar 4 km/detik. Model kecepatan tersebut tidak menggambarkan keadaan geologi sebenarnya, sehingga hasilnya tidak begitu baik. Berbeda ketika menggunakan model kecepatan dengan beberapa lapis (*multilayer*) misalnya yaitu dengan model kecepatan lima lapis seperti pada metoda *Single Event Determination*, maka diperoleh sebaran episenter yang lebih baik. Tampak bahwa episenter lebih mengerucut mendekati bidang sesar. Hasil metoda ini lebih baik dibandingkan dengan metoda tiga lingkaran, hal ini dikarenakan model kecepatan yang digunakan SED lebih mendekati keadaan geologi sebenarnya dibandingkan dengan menggunakan model satu lapis.

Ketika hasil metoda *Single Event Determination* (SED) ini direlokasi lagi dengan metoda *Joint Hypocenter Determination* (JHD), maka diperoleh sebaran episenter yang lebih presisi, yaitu sebaran episenter lebih rapat ke arah sesar walaupun sebarannya tidak sebidang dengan bidang sesar. Gempa bumi-gempa bumi di bagian timur juga posisinya lebih baik yaitu menjadi lebih dangkal sama seperti gempa bumi-gempa bumi di bagian barat. Hal ini dikarenakan model kecepatan *dioptimasi* dalam metoda JHD, hasil inversi dari data observasi. Jadi lebih mendekati kecepatan rata-rata 1D daerah penelitian. Jika dibandingkan antara metoda SED dan JHD, perpindahan episenternya tidak terlalu jauh, hanya ada satu *event* gempa bumi yaitu tanggal 3 September 2011 yang perpindahannya cukup besar yaitu sekitar 3.4 km. Sedangkan yang perpindahannya antara 100 – 480 meter ada empat *event* gempa bumi, *event* gempa bumi selebihnya perpindahannya hanya puluhan meter saja yaitu berkisar antara 11 - 94 meter, selengkapnya terdapat pada gambar 6 dibawah ini.

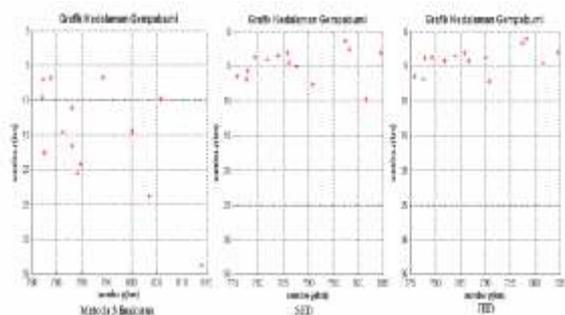


Gambar 6. Perbandingan antara SED dan JHD

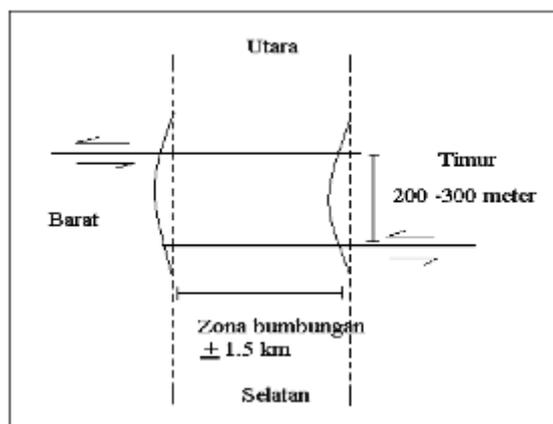
Berdasarkan sebaran kedalaman dari metoda tiga lingkaran, kedalaman berkisar antara 5 km hingga 33 km, sedangkan dengan metoda *single event determination* secara signifikan berubah menjadi lebih dangkal yaitu berkisar antara 2 km hingga 9.8 km, semakin mendekati sesar. Untuk kedalaman dengan metoda *joint event determination* juga mengalami perubahan tetapi tidak terlalu besar, kedalamannya berkisar antara 1.0 km hingga 7.22 km, seperti pada gambar 7.

Berdasarkan sebaran kedalaman dengan metoda *joint hypocenter determination* pusat-pusat gempa bumi terkonsentrasi pada kedalaman 3 km hingga 5 km yang merupakan gempa-gempa dangkal. Sedangkan gempa bumi-gempa bumi yang dalam berada pada kedalaman antara 6 hingga 7 km, dimana gempa bumi-gempa bumi dalam tersebut membentuk liniasi arah barat-timur sejajar dengan Sesar Lembang yang berada di sebelah utara.

Sesar Lembang jika diperhatikan, bahwa kenampakan bidang sesar secara jelas terlihat hanya di bagian barat dan timur, sementara di bagian tengah tidak tampak, hal ini disebabkan pada daerah ini bekerja 2 buah gaya yang saling berlawanan dari kedua ujung sesar tersebut, sehingga akibatnya terjadi zona bumbungan di bagian tengah ini, seperti pada gambar 8 di bawah ini.[3]



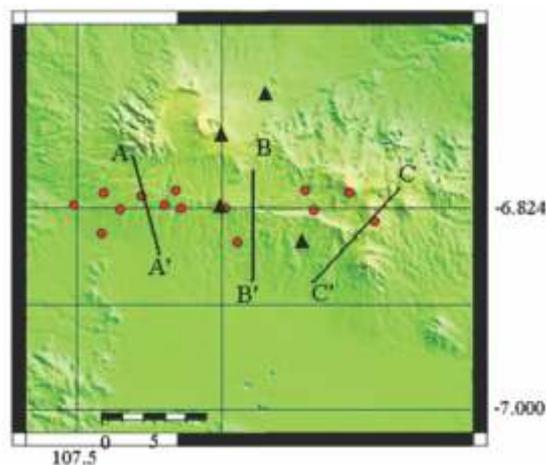
Gambar 7. Perbandingan kedalaman dari metoda tiga lingkaran, SED dan JHD.



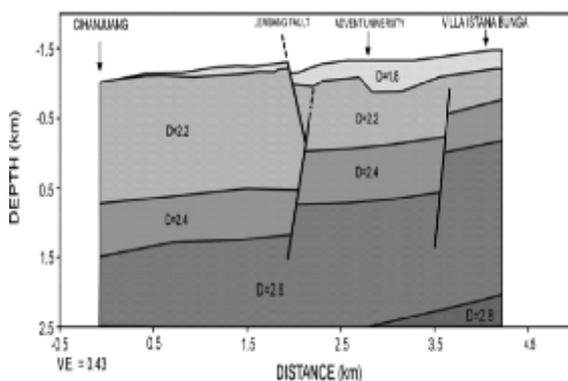
Gambar 8. Zona bumbungan di bagian tengah.

Dalam *identifikasi* Sesar Lembang, penulis membuat penampang di tiga zona yaitu zona barat, zona tengah serta zona timur seperti pada gambar 9. Untuk penampang zona barat, pusat gempa bumi sebagian di kedalaman 3–4 km, dan sebagian lagi di kedalaman 5 - 7 km. Pada periode penelitian ini tidak diperoleh data kejadian gempa bumi di kedalaman kurang dari 3 km, hanya diperoleh kejadian gempa bumi di kedalaman 3 km hingga 7 km.

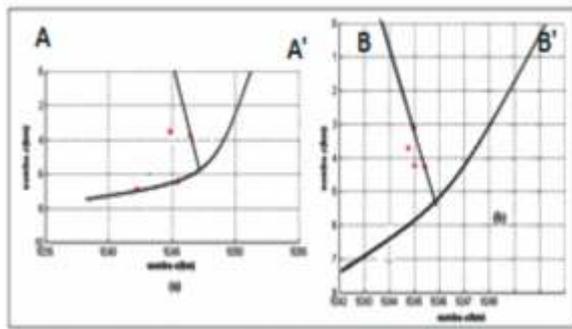
Untuk zona ini, dengan meng-*extend* model dari metoda gaya berat seperti pada gambar 10, sebaran pusat gempa bumi, serta data mekanisme sumber, maka zona barat dapat direkonstruksi penampang sesarnya seperti pada gambar 11a [11]. Terdapat empat gempa bumi yang terdiri dari dua gempa bumi dalam serta dua gempa bumi dangkal. Untuk gempa bumi dangkal terdiri dari satu gempa bumi yang merupakan hasil dari pergerakan Sesar Lembang dengan tipe pensesaran naik (*thrusting*) serta ada satu lagi yang berada di selatan bidang sesar (tidak tepat di bidang sesar) dengan tipe pensesaran *normal*.



Gambar 9. Penampang zona barat, tengah dan timur.



Gambar 10. Model berdasarkan pengukuran gaya berat [11].

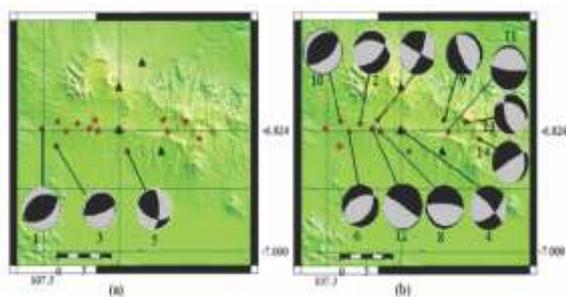


Gambar 11. Penampang zona barat dan tengah.

Untuk zona tengah kenampakan sesar tidak tampak dengan jelas, hal ini dikarenakan zona ini merupakan zona bumbungan, akibat dari dua gaya yang berlawanan arah yang bekerja pada zona ini seperti pada gambar 8, sehingga sesar tersebut tersembunyi. Hampir sama dengan zona barat pada zona ini sebaran pusat gempa terkonsentrasi di kedalaman 3 km hingga 4.5 km. Berdasarkan sebaran pusat gempa serta mekanisme sumber, untuk zona tengah, gempa-gempa yang terjadi selain berasal dari sesar utamanya yaitu Sesar Lembang juga berasal dari sesar-sesar sekunder yang berada di bagian selatan sesar, dengan *strike* timur laut serta barat laut dengan penampangnya seperti pada gambar 10b. Berdasarkan data mekanisme sumber seperti ada gambar 12, pergerakan sesar bagian atas adalah mengiri (*sinistral*), sedangkan sesar yang memotong sesar bagian atas bergerak naik (*thrusting*).

Untuk zona timur kenampakan sesar di permukaan sangat jelas sekali, gawir sesar dicirikan oleh oleh tebing sangat terjal dengan beda tinggi relatif dari 75 meter di bagian barat sampai 450 meter di bagian timur.

Ketinggian ini semakin tinggi akibat adanya penyayatan vertikal (*incision*) endapan-endapan gunung api pada kakinya. Zona ini merupakan zona depresi (*graben*), dengan kemiringan bidang yang cukup terjal [10]. *Event-event* gempa bumi di bagian timur pada periode penelitian ini terkonsentrasi di bagian utara sesar, dengan kedalaman bervariasi mulai dari kedalaman 1.07 km hingga 4.5 km, dengan kecenderungan makin ke utara makin dalam gempanya, sedangkan di selatan sesar tidak ada.



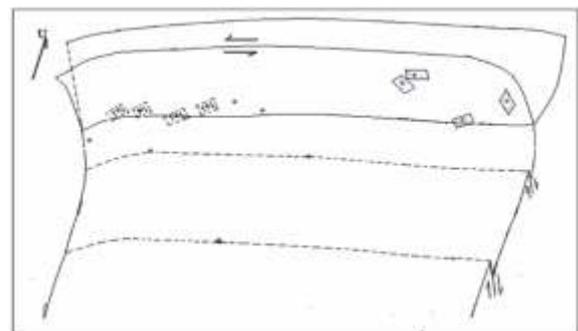
Gambar 12. Mekanisme sumber di sekitar Sesar Lembang

Berdasarkan data mekanisme sumber, dibagian utara sesar ini merupakan sesar-sesar sekunder dengan tipe pensesarannya adalah turun (*normal*).

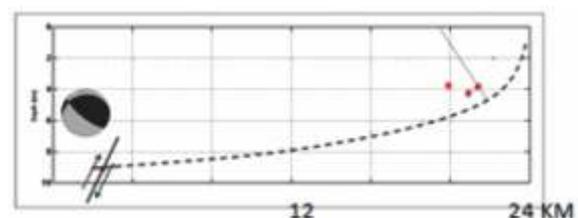
Jika digabungkan dari ketiga zona tersebut, maka dapat diperkirakan bahwa sistem Sesar Lembang tipe pensesarannya adalah kombinasi antara tipe naik (*thrusting*) dengan tipe mendatar (*strike slip*). Hasil penelitian ini menguatkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di bidang paleoseismologi. Selain dari Sesar Lembang, dibagian selatan dan utara sesar juga terdapat sesar-sesar minor yang ber-*strike* timur laut dan sebagian barat laut dengan tipe pensasaran turun (*normal*). Untuk gempa-gempa dalam (6 km – 9 km), ada kelurusan pusat-pusat gempabumi berarah barat–timur, sejajar dengan Sesar Lembang yang berada di sebelah utaranya seperti pada gambar 13. Fakta adanya kelurusan-kelurusan barat-timur ini menguatkan pendapat sebelumnya dimana tipe pensesarannya hampir sama yaitu *thrusting* [11].

Fakta tersebut diperkuat dengan data mekanisme sumber dari gempabumi yang berada di selatan cekungan Bandung (diluar daerah penelitian), dimana tipe pensesarannya merupakan tipe naik (*thrusting*) seperti pada gambar 14.

Diperkirakan zona ini awalnya merupakan sistem graben kemudian karena ada desakan/gaya dari selatan, maka terjadi reaktivasi dari sistem graben tersebut yaitu perubahan arah pensasaran menjadi naik (*thrusting*).



Gambar 13. Sistem Sesar Lembang yaitu sesar naik (*thrusting*) untuk gempa-gempa dalam, mengiri untuk gempa dangkal, serta sesar-sesar minor dengan pensasaran normal.



Gambar 14. Mekanisme sumber gempabumi di selatan cekungan Bandung.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat disimpulkan bahwa, jika ditinjau dari sudut seismologi, Sesar Lembang ini masih aktif, ini dibuktikan dengan adanya gempa bumi yang masih terjadi, walaupun kekuatannya kecil, tapi ini menunjukkan bahwa sesar ini masih aktif. Gempa bumi yang terjadi terkonsentrasi di ujung-ujung sesar, baik ujung barat maupun ujung timur. Sistem pergerakan Sesar Lembang merupakan tipe *sinistral* (mengiri), sedangkan untuk sesar-sesar sekundernya merupakan pensesaran *normal*, dan sebagian merupakan pensesaran naik (*thrusting*).

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Afnimar, P.hD, yang telah membantu dalam validasi data di Laboratorium Seismologi Institut Teknologi Bandung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada DR. Jaya Murjaya, M.Si yang telah mengizinkan penggunaan data Precursor Deputi Geofisika. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan ke semua pihak yang telah membantu, sehingga tulisan ini selesai.

#### Daftar Pustaka

- [1] Hasanuddin, Z. Abidin, & Meilano, I., (2009), Crustal Deformation Studies in Java (Indonesia) Using GPS, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 3(2), 77–88.
- [2] Brahmantyo, B., (2005), *Geologi Cekungan Bandung*, Institut Teknologi Bandung.
- [3] Hidayat, E., Brahmantyo, B., & Yulianto, E., (2008), Analisis endapan sagpon pada Sesar Lembang, *Jurnal Geoaplika*, 3(3), 151-161.
- [4] Gomberg, J. S., Shedlock, K. M., & Roecker, S. W., (1990). *The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation*, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 1605–1628.
- [5] Brahmantyo, B., (2005), *Geologi Cekungan Bandung*, Institut Teknologi Bandung.
- [6] Tjia, H.D., (1968), The Lembang Fault, West Java, *Geologie En Mijnbouw*, 47, 126-130.
- [7] Natawidjaya, D.H., (2011), *Bahan Ajar Bencana Kebumihan*, FITB, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8] Grandis, H., (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Bandung.
- [9] Yagi, Y. (2012), *Source Mechanism*, University of Tsukuba.
- [10] Sunardi, E., & Koesoemadinata, R.P., (1997), *Magnetostratigraphy of volcanic rock in Bandung area*, Pross. PIT ke XXVI IAGI, Jakarta.
- [11] Brahmantyo, B., & Widarto, D.S., (2003), *Ekskursion Sesar Lembang*, HAGI Komisariat Wilayah Bandung.