

STUDI AWAL CODA Q-FACTOR WILAYAH SESAR OPAK

PRELIMINARY STUDY CODA Q-FACTOR AROUND OPAK'S FAULT

Indra Gunawan

Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran Jakarta Pusat 10720

E-mail : indra.gunawan@bmgk.go.id

Naskah masuk: 4 September 2014; Naskah diperbaiki: 14 Desember 2014; Naskah diterima: 15 Desember 2014

ABSTRAK

Selama proses penjalaran gelombang seismik sampai terekam di seismometer, gelombang seismik mengalami proses atenuasi dimana energi gelombang berkurang akibat geometrical spreading, intrinsic attenuation dan scattering attenuation. Proses ini dapat menerangkan struktur lapisan bumi dan aktivitas seismik suatu wilayah. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses atenuasi adalah coda Q-factor. Hasil pengolahan coda Q-factor dari empat gempa lokal di sekitar Sesar Opak menghasilkan nilai rata-rata atenuasi sebesar $Q_c = 95.02 f^{0.15}$. Berdasarkan nilai ini bila dibandingkan dengan nilai coda Q-factor di wilayah seismik aktif maka dapat dikatakan wilayah Sesar Opak memiliki tingkat aktivitas seismik yang cukup aktif.

Kata Kunci: proses atenuasi, coda Q-factor, Sesar Opak

ABSTRACT

During seismic wave propagating process through it is recorded on a seismometer, seismic wave encounters attenuation process, where the wave energy is reduced due to geometrical spreading, intrinsic and scattering attenuation. This process can interpret the structure of the layers of the earth and the seismic activity of a region. The coda Q-factor is a phenomenon affected attenuation process. The result of coda Q-factor processing of four local earthquakes around Opak's Fault yields an average attenuation values around $Q_c = 95.02 f^{0.15}$. Based on this coda Q-factor number for active seismic, it is estimated that Opak's Fault region has reasonably active seismic region.

Keywords: attenuation process, coda Q-factor, Opak's Fault

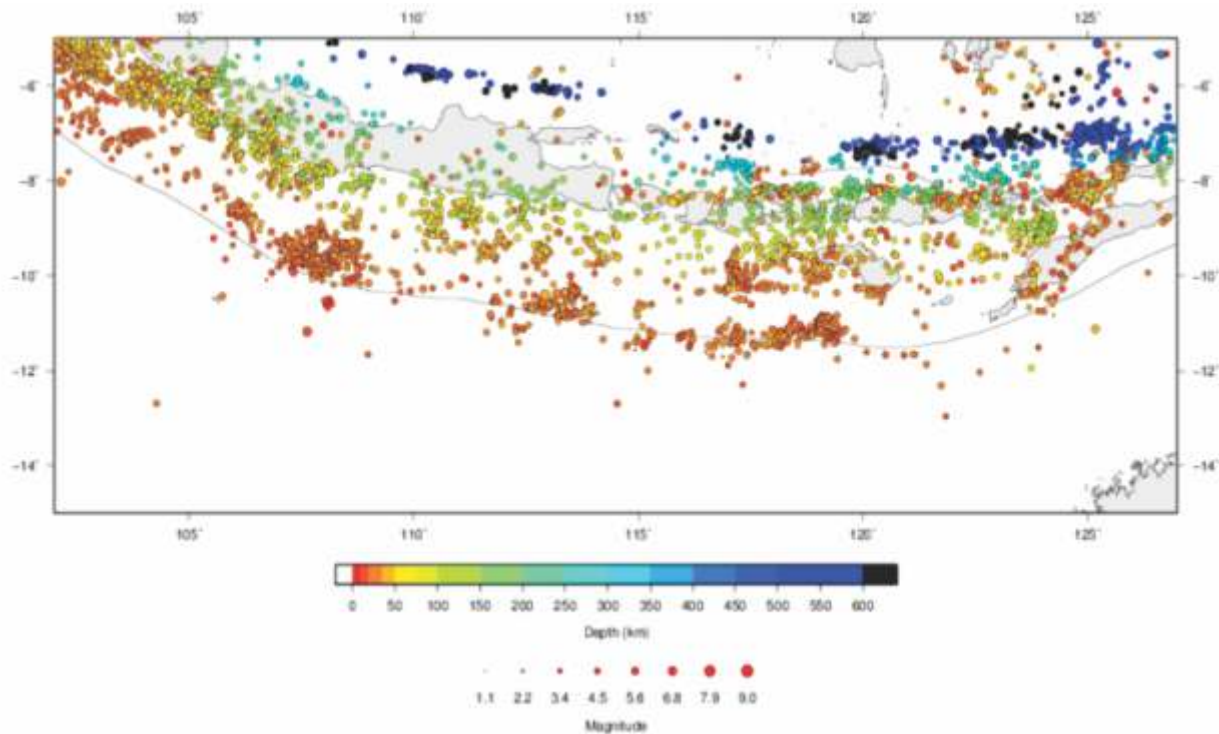
1. Pendahuluan

Rekaman gempabumi yang tercatat pada seismometer merupakan konvolusi dari fungsi sumber (*source*), penjalaran (*path/atenuasi*), amplifikasi lokal (*site amplification*) dan *response instrument*. Dalam kaitan fungsi penjalaran (*path/atenuasi*) suatu gempabumi, energi seismik yang menjalar di lapisan lithosphere bumi mengalami pengurangan yang disebabkan oleh *geometrical spreading, intrinsic attenuation dan scattering attenuation*. *Intrinsic attenuation* mengakibatkan energi seismik berubah menjadi panas, sedangkan *scattering attenuation* menggambarkan penyebaran gelombang akibat heterogenitas lapisan di bawah permukaan bumi. Oleh karena itu, studi seismik atenuasi dalam hal ini coda Q-factor (Q_c) merupakan parameter penting dalam memahami struktur lapisan bumi dan aktivitas seismik tektotik di suatu wilayah. Jin, A & Aki, K. (1989) [1] menyatakan adanya hubungan yang kuat antara tingkat *fracture* pada lapisan lithosphere dengan coda-Q, yang berasosiasi dengan seismisitas.

Berdasarkan teori *coda wave* yang dikemukakan Aki, K dan Chouet, B. (1975) [2], *coda wave* merupakan

hasil superposisi back-scattered wavelets dari distribusi random heterogenitas lapisan lithosphere (*single-scattering model*). *Scattering* tersebut dihasilkan dari *irregular* topografi, kompleksitas geologi permukaan, heterogenitas elastik batuan, sesar dan retakan, yang semakin banyak di permukaan dan lebih sedikit di dalam lapisan lithosphere. Parameter coda Q-factor (Q_c) dari *back-scatter wavelet* telah digunakan oleh banyak peneliti untuk memahami tingkat seismisitas suatu wilayah, seperti di *Western dan Eastern Anatoli Fault Zone* [3] dan [4]; di *North-West Himalayan* [5]. Secara umum, dari beberapa studi seismik atenuasi (quality factor pada 1 Hz (Q_0)) disimpulkan bahwa $Q_0 < 200$ berkaitan dengan wilayah tektonik dan seismik yang aktif, $Q_0 > 600$ merupakan wilayah yang stabil (*inactive seismic*).

Pada studi ini, penulis akan menghitung coda Q-factor (Q_c) untuk wilayah sekitar Sesar Opak. Studi seismik atenuasi dengan metoda *single-scattering model* diharapkan dapat menjelaskan tingkat seismisitas di wilayah tersebut dan dapat dimanfaatkan pada studi *earthquake hazard assessment* dan studi seismologi lainnya.



Gambar 1. Seismisitas wilayah Jawa, Bali dan Sumba berdasarkan EHB catalog ISC selama 1970 s.d 2008.

Tektonik dan Seismisitas. Secara tektonik, wilayah Jawa, Bali dan Sumba terletak pada zona subduksi lempeng oceanic Indo-Australia dan lempeng crust Eurasia dengan arah hampir tegak lurus. Kecepatan penunjaman lempeng Indo-Australia sekitar 67 ± 7 mm/tahun dengan arah $11^\circ \pm 4$ dari arah Utara [6].

Dalam kajian seismisitas, wilayah selatan Jawa, Bali dan Sumba terjadi beberapa gempabumi dengan magnitudo dibawah 8.0 M_w disepanjang sunda trench, seperti tahun 1903 dengan magnitudo 7.9 M_s , tahun 1921 dengan magnitudo 7.5 M , tahun 1977 di Sumba dengan kekuatan 7.8 M_w , tahun 1994 di Banyuwangi dengan kekuatan 7.8 M_w dan tahun 2006 di Pangandaran dengan magnitudo 7.8 M_w .

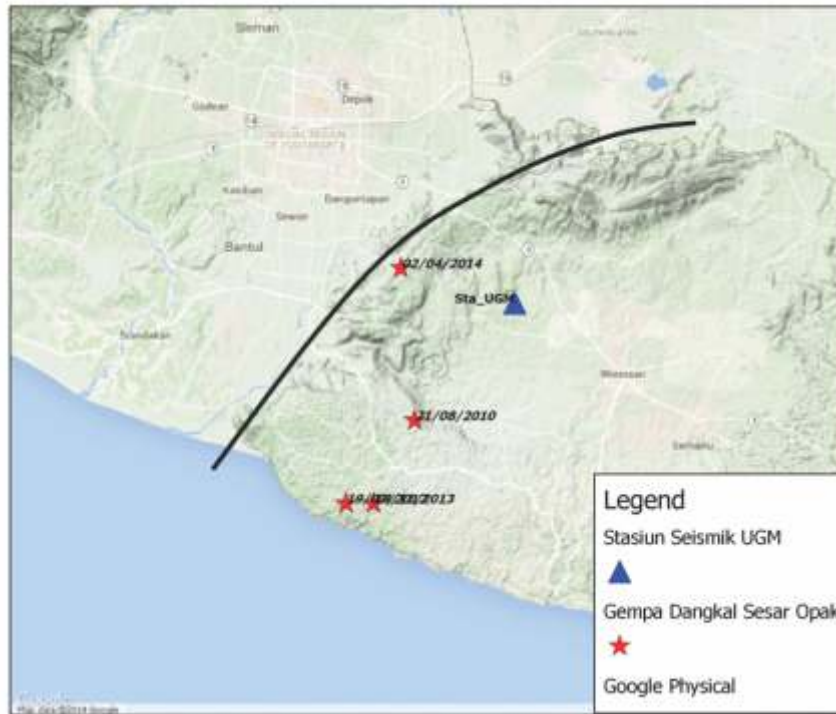
Sedangkan kejadian gempabumi di crustal/ darat tidak terlalu banyak, gempabumi di Daerah Istimewa Yogyakarta pada tanggal 26 Mei 2006 berkekuatan 6.3 M_w yang menelan korban jiwa diatas 5 ribu jiwa, merupakan gempabumi crustal signifikan yang merusak. Gambar 1 menunjukkan seismisitas Pulau Jawa, Bali dan Sumba dengan data gempa berdasarkan catalog Engdahl, van der Hilst and Buland (EHB) catalog (International Seismological Center/ISC) [7].

Secara umum, wilayah selatan Jawa, Bali dan Sumba merupakan daerah seismik aktif terutama di sepanjang sunda trench, begitu juga tingkat keaktifan seismik di darat cukup signifikan.

2. Metode Penelitian

Data. Pada penelitian ini, penulis menggunakan data pada stasiun seismik UGM Wanagama yang mencatat gempa-gempa lokal di sekitar sesar Opak. Stasiun UGM yang berlokasi pada koordinat 110.5231 BT, 7.9152 LS dengan ketinggian 352 m MSL merupakan stasiun seismik kerjasama antara BMKG dan GFZ-Postdam, Jerman yang dilengkapi oleh Streckeisen STS-2 seismometer dan Quanterra Q330 datalogger dengan sampling 20 dan 50 Hz.

Gambar 2 menunjukan lokasi gempa lokal yang terjadi di sepanjang sesar Opak selama 2010 s.d 2014 berdasarkan katalog BMKG. Gempa-gempa lokal didominasi oleh gempa dangkal dan penyebarannya dari utara sesar Opak sampai ke selatan yang berbatasan dengan Samudra Hindia. Tabel 1 memberikan informasi parameter gempa dangkal yang terjadi di sekitar Sesar Opak.



Gambar 2. Lokasi gempa dangkal (symbol bintang merah) di Sesar Opak (garis hitam) selama 2010 s.d 2014 berdasarkan katalog BMKG yang tercatat di stasiun UGM (symbol segitiga biru).

Estimasi Coda Q-factor

Metoda yang digunakan untuk mengestimasi nilai coda Q-factor didasarkan pada metoda *single back-scattering* yang dikemukakan oleh [2], dimana amplitudo coda wave pada *lapse time* (t) second dari *origin time* untuk seismogram yang di-filter *bandpass* pada *center frequency* (f) dinyatakan sebagai :

$$A(f, t) = K(f)t^{-\alpha}e^{-\pi f t / Q_c} \quad (1)$$

atau dalam fungsi logaritmik dinyatakan:

$$\ln A(f, t) = \ln K(f) - \alpha \ln t - \frac{\pi f}{Q_c} t \quad (2)$$

Dimana $K(f)$ adalah *source factor* gelombang coda pada frekuensi (f) yang tidak bergantung (*independent*) pada waktu dan *radiasi pattern*, adalah *geometrical spreading*, diasumsikan bernilai 1.0 untuk *body wave*.

Dari persamaan 2 coda Q-factor merupakan *gradient /slope* (m) dari *least-square fitting*, grafik antara $\ln A(f, t)$ terhadap waktu (t), dinyatakan :

$$Q_c(f) = \frac{\pi f}{m} \quad (3)$$

Secara umum, untuk mengestimasi nilai coda Q-factor pada suatu rekaman seismik dilakukan tahapan sebagai berikut:

- i. Penentuan *on set* gelombang P dan S pada rekaman seismik / *waveform* komponen vertikal.

- ii. Filterisasi *waveform* dengan Butterworth *bandpass filter* pada *center frequency* tertentu.

Bandpass	Frekuensi Center
2 – 4 Hz	3 Hz
4 – 8 Hz	6 Hz
6 – 12 Hz	9 Hz
8 – 18 Hz	12 Hz

- iii. Pemotongan *waveform* pada *coda wave* setelah *lapse time* $2t_s$ (2 x *on set* gelombang S). Penulis menggunakan *lapse time* sebesar 20 sekon, 30 sekon, dan 40 sekon.
- iv. Dilakukan *envelope waveform* dan *moving average* gelombang coda yang ter-filter setelah nilai amplitude gelombang diubah dalam skala logaritmik.
- v. Perhitungan *gradient/ slope* dengan *least square fitting* untuk memperoleh nilai coda Q-factor tiap-tiap *center frequency* dan *lapse time coda wave*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, penulis menggunakan aplikasi python programming dengan paket *obsypy* [9][10] untuk melakukan *processing* data sehingga diperoleh estimasi nilai coda Q-faktor.

Gambar 3 menampilkan proses pengolahan coda Q-factor untuk gempa 2012-03-19 yang terekam di stasiun UGM. Grafik a. dan b. menggambarkan

original waveform yang digunakan dengan *on set origin time* (OT), P dan S wave serta *coda wave* yang digunakan dengan *lapse time* 20 detik. Grafik c. menampilkan hasil bandpass filter (2.0 – 4.0 Hz) dengan *corner frequency* 3.0 Hz. Sedangkan grafik d. menampilkan *moving average* hasil filtering waveform setelah dilakukan envelope amplitude dalam skala logritmik, garis merah menunjukkan regresi linier dengan metoda *least square fitting* untuk penentuan nilai coda Q-factor sehingga diperoleh nilai 78.36.

Tabel 2 memberikan informasi seluruh hasil perhitungan coda Q-factor untuk setiap gempa pada *lapse time* dan *corner frequency* yang telah ditentukan.

Untuk memperoleh estimasi nilai rata-rata coda Q-factor yang bergantung (*dependent*) terhadap

frekuensi, digunakan persamaan sebagai berikut:

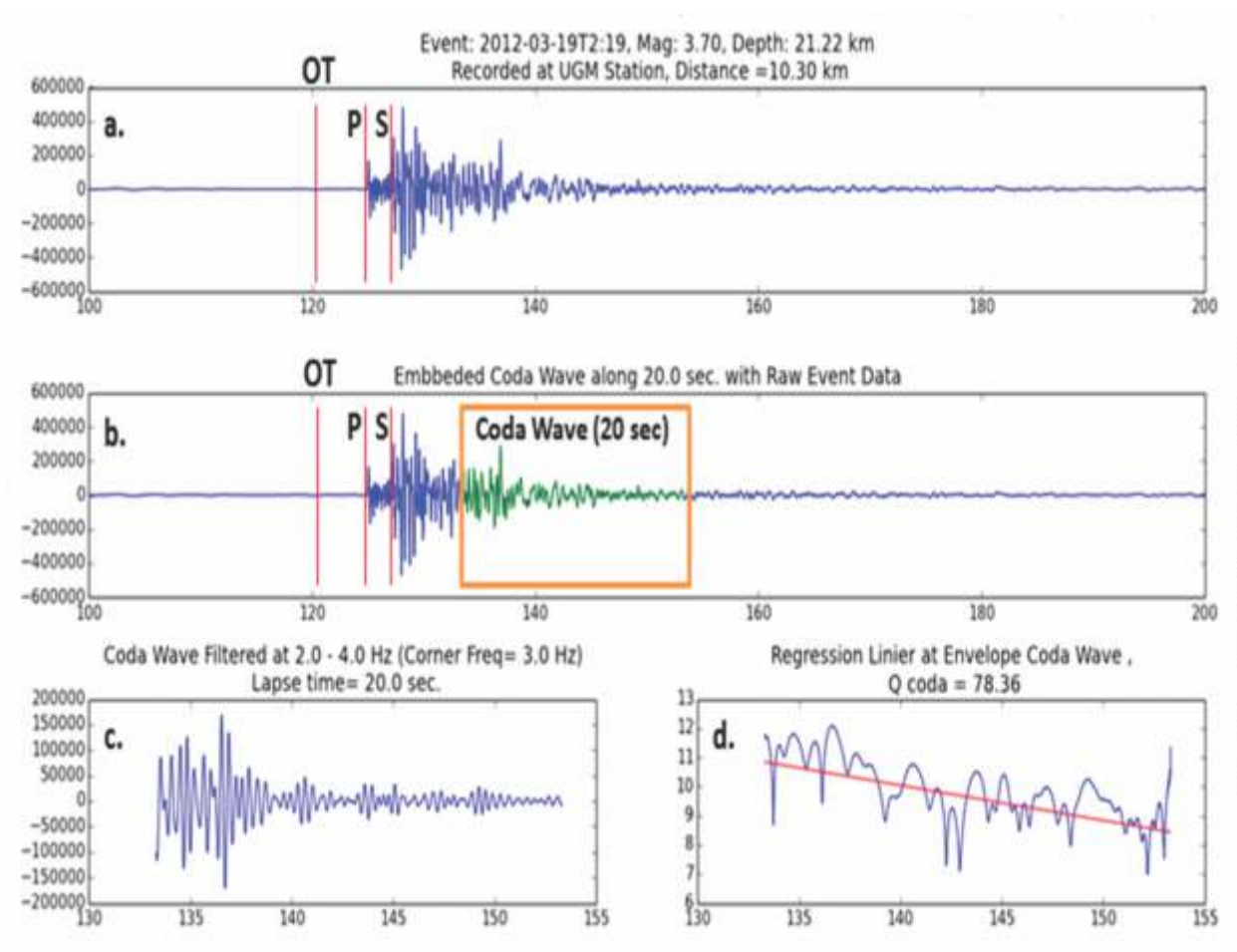
$$Q_c = Q_c f^n \quad (4)$$

Dengan menggunakan metoda *least square fitting* (Gambar 4) diperoleh nilai coda Q-factor untuk wilayah Sesar Opak yakni :

$$Q_c = 95.02 \cdot 13.84 f^{0.15 \cdot 0.07}$$

Tabel 1. Parameter gempa dangkal di sekitar sesar Opak

Waktu Gempa	Mag.	Lat.	Long.	Kdlm.
2010-08-21 11:41 UTC	4.7 mb	-8.00	110.45	22.3
2012-03-19 T02:19 UTC	3.7 mb	-8.06	110.40	10.3
2013-11-14 11:45UTC	4.1 mb	-8.06	110.42	6.9
2014-04-02 11:21UTC	4.2 mb	-7.89	110.44	10

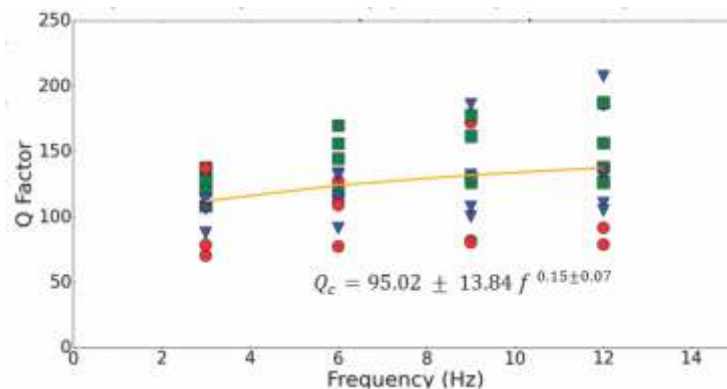


Gambar 3. Proses pengolahan coda Q-factor untuk gempa 2012-03-19 yang terekam di stasiun UGM. Grafik (a) dan (b) merupakan on set P dan S wave serta windowing 20 detik coda wave. Grafik (c) dan (b) adalah hasil filterisasi pada suatu corner frequency dan regresi linier untuk menghasilkan estimasi nilai coda Q-factor.

Tabel 2. Perhitungan coda Q-factor gempa-gempa dangkal di Sesar Opak dengan lapse time (20, 30 dan 40 detik) dan corner frequency (3, 6, 9 dan 12 Hz)

<i>Gempa 2010-08-21 Mag = 4.7, Epic_Dist= 12.59 km</i>					<i>Gempa 2012-03-19, Mag = 3.7, Epic_Dist= 21.22 km</i>				
	<i>Band pass filter dan corner frequency</i>					<i>Band pass filter dan corner frequency</i>			
Lapse time	2 – 4 Hz (3 Hz)	4 – 8 Hz (6 Hz)	6 – 12 Hz (9 Hz)	8 – 18 Hz (12Hz)	Lapse time	2 – 4 Hz (3 Hz)	4 – 8 Hz (6 Hz)	6 – 12 Hz (9 Hz)	8 – 18 Hz (12Hz)
20 sec.	70.244	77.262	81.741	91.549	20 sec.	78.358	112.134	129.553	129.091
30 sec.	87.631	91.193	99.97	110.313	30 sec.	106.048	114.841	131.972	134.358
40 sec.	108.324	119.301	126.208	138.021	40 sec.	120.147	144.41	161.637	156.489

<i>Gempa 2013-11-14, Mag = 4.1, Epic_Dist = 19.88 km</i>					<i>Gempa 2014-04-02, Mag = 4.2, Epic_Dist= 9.50 km</i>				
	<i>Band pass filter dan corner frequency</i>					<i>Band pass filter dan corner frequency</i>			
Lapse time	2 – 4 Hz (3 Hz)	4 – 8 Hz (6 Hz)	6 – 12 Hz (9 Hz)	8 – 18 Hz (12Hz)	Lapse time	2 – 4 Hz (3 Hz)	4 – 8 Hz (6 Hz)	6 – 12 Hz (9 Hz)	8 – 18 Hz (12Hz)
20 sec.	128.904	127.234	171.866	185.974	20 sec.	137.07	108.893	80.303	78.743
30 sec.	128.508	133.093	185.831	207.33	30 sec.	113.124	131.553	107.379	104.813
40 sec.	137.759	169.952	177.755	187.321	40 sec.	127.947	155.974	130.119	126.305



Gambar 4. Least square fitting untuk perhitungan nilai rata-rata coda Q-factor untuk wilayah Sesar Opak. Simbol lingkaran merah untuk lapsetime 20 detik, simbol segitiga biru untuk lapse time 30 detik dan simbol kotak hijau untuk lapsetime 40 detik.

4. Kesimpulan

Perhitungan coda Q-factor untuk wilayah Sesar Opak sebesar $Q_c = 95.02 f^{0.15}$

Pada frekuensi 1 Hz, nilai Q_0 adalah 95.02 sehingga dapat dikatakan wilayah Sesar Opak termasuk ke dalam kategori wilayah seismik yang aktif bila dibandingkan dengan wilayah seismik aktif dunia.

Saran. Selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian yang lebih mendalam untuk kawasan Jawa Bagian Tengah dengan menggunakan data gempa dan survey seismik yang pernah dilakukan sebelumnya, seperti Project Meramex, 2004.

Daftar Pustaka

- [1] Jin, A & Aki, K. (1989). Spatial and temporal correlation between coda Q^{-1} and seismicity and its physical mechanism. *Journal Geophys Res*, 94, 14041-14059.
- [2] Aki, K & Chouet, B. (1975). Origin of coda waves: sources, atenuasi and scattering effects. *Journal Geophys Res*, 80, 3322-3342.
- [3] Akinci, A., Taktak, A.G., & Ergintay, S. (1994). Atenuasi of coda waves in Western Anatoli. *Physic Earth Planet Inter*, 87, 155-165.
- [4] Sertcelik, F. (2012). Estimation of coda wave atenuasi in the East Anatoli Fault Zone, Turkey. *Pure Appl. Geophys*. 169, 1189-1204.
- [5] Kumar, N., Parvez, I.A., & Virk, H.S, (2005).

- Estimation of coda wave atenuasi for NW Himalayan region using local earthquakes. *Physic Earth Planet Inter* 151, 243-258.
- [6] Tregoning, P., Brunner, F., Bock, Y., Puntodewo, S., McCaffrey, R., Genrich, J., Calais, E., Rais, J., & Subarya, C. (1994). First geodetic measurement of convergence across the java trench. *Geophysical Research Letters*, 21, 2135-2138.
- [7] International Seismological Centre. (2014). On-line Bulletin. Thatcham, United Kingdom. Int. Seis. Cent. <http://www.isc.ac.uk>.
- [8] Haskov, J. & Ottemoller, L. (2010). Routine data processing in earthquake seismology. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- [9] M. Beyreuther, R. Barsch, L. Krischer, T. Megies, Y. Behr & J. Wassermann (2010). ObsPy : A Python Toolbox for Seismology, *SRL*, 81(3), 530-533.
- [10] T. Megies, M. Beyreuther, R. Barsch, L. Krischer, & J. Wassermann (2011). ObsPy – What cat it do for data centres and observatories?, *Annals Of Geophysics*, 54(1), 47-58.