

STUDI *b*-VALUE UNTUK PENGAMATAN SEISMISITAS WILAYAH PULAU JAWA PERIODE 1964-2012

Affi Mutiarani, Madlazim, Tjipto Prastowo

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : *fi_flowers@yahoo.co.id*

Abstrak

Dinamika tektonik pulau Jawa didominasi oleh gerakan lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam. Tunjaman lempeng tersebut mengakibatkan pergerakan batuan. Kondisi ini menjadikan pulau Jawa sebagai daerah tektonik aktif dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Dalam konteks ini, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh frekuensi gempa terhadap magnitudo gempa bumi dan mengetahui tingkat kerapuhan batuan pulau Jawa sebagai estimasi bencana gempa bumi. Parameter seismo-tektonik suatu wilayah dapat diketahui dari relasi Gutenberg-Richter, yaitu $\log N = a - bM$, di mana N adalah frekuensi gempa, M adalah magnitudo gempa, nilai a merupakan tingkat seismisitas suatu wilayah dan nilai b merupakan tingkat kerapuhan batuan. Untuk mencapai tujuan tersebut maka kedua parameter dapat dianalisis dengan menggunakan metode kuadrat terkecil. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data parameter gempa bumi yang diperoleh dari IRIS katalog ISC dan NEIC 1964-2012 dengan magnitudo ≥ 5 dan kedalaman 0-655 km di pulau Jawa yang berlokasi di 105° - 114° BT dan 6.5° - 12° LS. Koordinat lintang dan bujur dibagi menjadi 3 bagian, yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Berdasarkan hasil analisis data dari ketiga sebaran wilayah pulau Jawa didapatkan pengaruh frekuensi gempa terhadap magnitudo gempa bumi yaitu semakin besar frekuensi gempa maka semakin kecil magnitudo gempa bumi. Perbandingan parameter seismo-tektonik memberikan nilai b di Jawa Barat (0,721), lebih tinggi dari wilayah Jawa Tengah (0,65) dan Jawa Timur (0,503). Temuan-temuan tersebut ditafsirkan sebagai wilayah Jawa Barat merupakan daerah yang memiliki tingkat kerapuhan batuan yang lebih tinggi dibandingkan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Hasil analisis tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kerapuhan batuan, maka semakin tinggi pula aktivitas seismik yang terjadi di wilayah tersebut.

Kata Kunci: seismisitas, *b*-value

Abstract

Tectonic of java dominated by Australian Eurasian plate movement that moves to the north, and get crushed with Eurasia plate that relative silent. Crushed zone is that plate beget rock movement. This condition make java as tectonic region active with high level of seismicity. In this context, research is done to know influence of frequency to magnitude earthquake and knows rock crispness zoom java as estimation of earthquake disaster. Seismotectonic parameter a region gets to be known from Gutenberg Richter's relation, which is logarithm $N = a - bM$, where N is frequency, M is magnitude earthquake point, a is seismicity's zoom a region and point b is rock crispness zoom. To reach the purpose of research, both of parameter gets analyzed by use of least squares methods. Data that is utilized in this research is earthquake parameter data that acquired of IRIS catalogue ISC and NEIC 1964-2012 by magnitudes ≥ 5 and depths 0-655 km at java that location at 105° - 114° BT and 6.5° - 12° LS. Transversal and longitudinal coordinate divided as 3 a part, which are Western Java, Intermediate java and East Java. Base on analysis's result of third spread territorial java was gotten by influence of frequency to earthquake magnitude which is the greater frequency therefore make magnitude of earthquake getting smaller. Comparison of seismotectonic parameter assigns *b*-value at West Java (0,721) higher than Intermediate Javanese region (0,65) and East Java (0,501). That finding are paraphrased as region of West Java is constitute region that have increase superordinate rock crispness than Intermediate Java and East Java. The result of analyzing also points out that crispness level excelsior rock, therefore excelsior too happening seismic activity territorial that.

Key Words : Seismicity, *b*-Value

PENDAHULUAN

Dinamika tektonik pulau Jawa didominasi oleh pergerakan lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang

relatif diam. Penunjaman lempeng Indo-Australia berkisar 100-200 km di bawah permukaan dan 600 km di utara pulau Jawa. Tunjaman lempeng tersebut mengakibatkan pergerakan unsur-unsur batuan. Kondisi

ini menjadikan wilayah pulau Jawa sebagai daerah tektonik aktif dengan tingkat seismisitas yang tinggi.

Bagi para ahli kebumihan zona subduksi pulau Jawa merupakan salah satu wilayah yang menarik untuk diteliti, terutama karena zona ini berpotensi tinggi untuk terjadinya gempa besar. Dalam dua tahun terakhir IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*) katalog ISC (*International Seimological Center*) dan NEIC (*National Earthquake Information Center*) mencatat 426 gempa besar di Indonesia, 30 di antaranya terjadi di pulau Jawa. Sementara yang lain sebagian besar terjadi di pulau Sumatera dan Papua, selebihnya terjadi di Sulawesi dan Sumbawa. Gempa bumi tersebut dengan kekuatan atau magnitudo $M_w \geq 5,0$.

Untuk mewaspadai bencana gempa bumi di kawasan pulau Jawa perlu dilakukan suatu kajian mendasar mengenai seismotektonik yang berbasis sejarah gempa bumi. Dewasa ini perkembangan ilmu pengetahuan dalam dunia pendidikan semakin pesat dan terus dituntut untuk selalu meningkatkan mutu baik secara kualitas maupun kuantitas. Salah satu penerapan ilmu pengetahuan alam yaitu geofisika, yang mempelajari tentang sains kebumihan.

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur dan morfologi bumi dengan menggunakan prinsip dan konsep fisika. Secara khusus, perkembangan ilmu geofisika sebagian mengarah ke teknik-teknik perhitungan dengan menggunakan metode matematika seperti penggunaan metode kuadrat terkecil dalam menentukan parameter seismisitas. Seismisitas merupakan ukuran untuk membandingkan aktivitas seismik antara satu daerah dengan daerah lain. Parameter-parameter seismisitas merupakan harga numerik yang dapat digunakan sebagai ukuran tingkat kegempaan suatu daerah. Parameter seismisitas terdiri dari keaktifan seismik (*a-value*), tingkat kerapuhan batuan (*b-value*), periode ulang, percepatan tanah maksimum, dan juga pemetaan gempa antara daerah yang satu dengan daerah yang lain.

Dalam suatu analisis untuk mengetahui seberapa jauh hubungan antar variabel maka digunakan satu variabel bebas dan satu variabel terikat. Metode ini digunakan untuk data-data yang mempunyai hubungan korelasi linier. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$b = \frac{n\sum(X_i.Y_i) - (\sum X_i).(\sum Y_i)}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$a = \frac{\sum Y_i - b\sum X_i}{n} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk mengetahui tingkat sejauh mana hubungan atau keterpengaruhannya variabel terikat dari variabel bebas maka diperlukan nilai dari koefisien korelasi. Pengertian dari analisis korelasi adalah suatu analisis untuk mengetahui kuat tidaknya hubungan yang terjadi antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y). Kuat tidaknya hubungan kedua variabel yang berbeda ini diukur dengan koefisien korelasi dan diberi simbol huruf (*r*), dimana nilainya antara -1 s/d +1 ($-1 < r < +1$). Untuk mencari koefisien korelasi menggunakan rumus :

$$r = \frac{n\sum(X_i.Y_i) - (\sum X_i).(\sum Y_i)}{\sqrt{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \cdot \sqrt{n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

n = Banyaknya kelas magnitudo

X_i = Titik tengah dari kelas magnitudo

Y_i = Logaritma dari frekuensi gempa untuk kelas magnitudo tertentu

Rumus umum yang banyak dipergunakan untuk tujuan ini berasal dari rumus empiris yang diturunkan oleh B.Gutenberg dan C.F.Richter (1945) adalah sebagai berikut.

$$\text{Log } N (M) = a - bM \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

N = Frekuensi gempa

M = Magnitudo

a, b = Konstanta

Skala-skala magnitudo tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitudo yang sama sebelum digunakan dalam analisis. Dari data-data tersebut dengan menggunakan analisis regresi didapat rumusan korelasi konversi magnitudo untuk wilayah Indonesia seperti dalam tabel berikut:

Tabel 1 Konversi Skala Magnitudo Gempa bumi (Irsyam dkk dalam Budiono, 2011)

No	Persamaan Konversi Magnitudo Momen
1	$M_w = 0.14M_s^2 - 1.051M_s + 7.285$
2	$M_w = 0.114mb^2 - 0.556mb + 5.560$
3	$M_w = 0.787ME - 1.537$
4	$mb = 0.125ML^2 - 0.389ML - 3.513$
5	$ML = 0.717MD + 1.003$

METODE

Menentukan koordinat lokasi penelitian dengan batasan lintang dan bujur di wilayah Jawa, yaitu 105⁰ hingga 115⁰ Bujur Timur dan 6.5⁰ hingga 12⁰ Lintang Selatan. Kemudian menghimpun data parameter gempa bumi dari IRIS menggunakan katalog ISC dan NEIC dengan koordinat lokasi yang telah ditentukan dan magnitudo ≥ 5 untuk selang waktu 48 tahun terakhir, terhitung dari tahun 1964. Selanjutnya mengkonversi seluruh magnitudo gempa bumi menjadi magnitudo momen (*M_w*), hal ini dilakukan karena magnitudo momen tidak mengalami saturasi. Menghilangkan gempa susulan karena yang dibutuhkan hanyalah gempa utama. Kemudian membagi wilayah berdasarkan koordinat lintang dan bujur, menjadi 3 *cluster*. Yaitu pulau Jawa bagian timur, tengah dan barat. Memasukkan frekuensi gempa kedalam kelas dengan interval yang terlebih dahulu dihitung menggunakan aturan *sturgess*. Selanjutnya mencari nilai a, nilai b dan indeks seismisitas dengan metode kuadrat terkecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

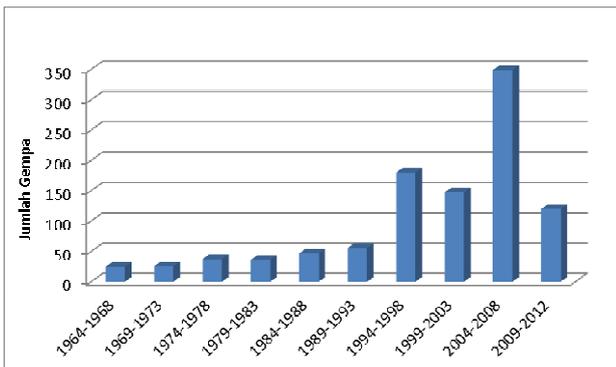
Analisis seismik yang dilakukan di wilayah pulau Jawa pada tahun 1964-2012 meliputi keaktifan seismik (*a-value*) dan tingkat kerapuhan batuan (*b-value*). Wilayah penelitian terletak pada 105⁰ hingga 114⁰ Bujur Timur dan 6.5⁰ hingga 12⁰ Lintang Selatan yang dibagi menjadi 3 bagian yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pembagian wilayah ini dilakukan untuk

mengetahui keadaan seismik dari masing-masing bagian wilayah di wilayah pulau Jawa. Pembagian wilayah ini didasarkan koordinat bujur wilayah pulau Jawa. Data yang diambil dari IRIS katalog ISC dan NEIC diperoleh data dengan berbagai magnitudo. Magnitudo tersebut diantaranya adalah MW (*magnitudo moment*), MB (*magnitudo body*), ML (*magnitudo local*), MS (*magnitudo surface*), MD. Dari berbagai magnitudo tersebut diperoleh data sebanyak 1709 dan setelah di konversi menjadi satu magnitudo yang sama yaitu MW diperoleh data hanya 1023.

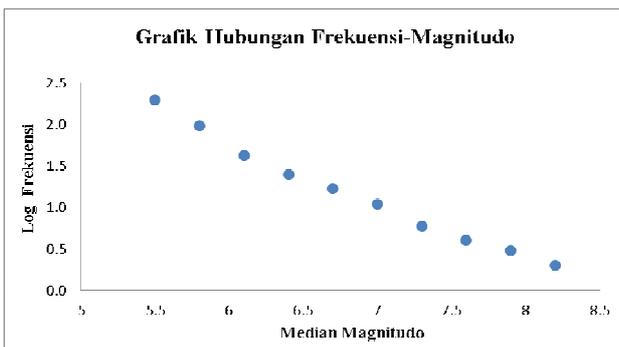
Untuk menganalisis nilai keaktifan seismik (*a*-value) dan tingkat kerapuhan batuan (*b*-value) dilakukan dengan persamaan hubungan Gutenberg-Richter $\log N (M) = a - bM$ yang dapat diselesaikan dengan metode kuadrat terkecil dan untuk pemetaannya menggunakan program *ArcView Gis 3.3*.

Distribusi Frekuensi-Magnitudo tiap 4 Tahun

Dari data yang didapatkan dari IRIS katalog ISC dan NEIC diperoleh data gempa sebanyak 1023. Berikut pendistribusian jumlah gempa terhadap magnitudo tiap 4 tahun terhitung dari tahun 1964.



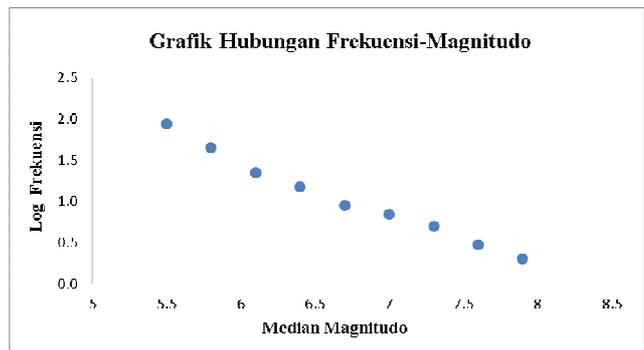
Gambar 1 Hasil distribusi jumlah gempa bumi tiap 4 tahun.



Gambar 2 Grafik Hubungan Frekuensi-Magnitudo wilayah Jawa Barat.

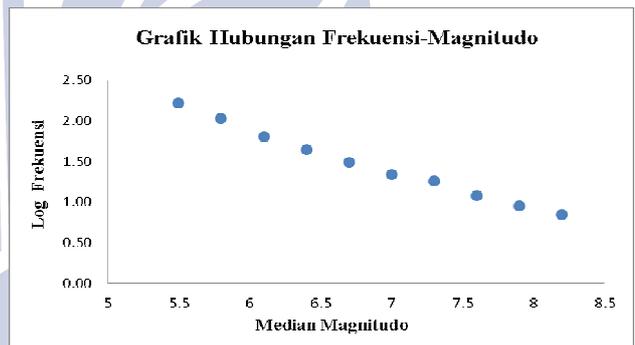
Dari Gambar 2 menunjukkan hubungan antara magnitudo dan frekuensi gempa bumi yang kuat. Dimana magnitudo berbanding terbalik sangat kuat dengan frekuensi gempa bumi. Hal ini menandakan semakin besar magnitudo maka semakin kecil frekuensi gempa bumi di wilayah Jawa Barat. Nilai kerapuhan batuan (*b*-value) wilayah Jawa Barat sebesar 0,721 dan keaktifan seismik sebesar 6.115. Hal ini mengindikasikan bahwa

keadaan seismotektonik di wilayah Jawa Barat cukup tinggi.



Gambar 3 Grafik Hubungan Frekuensi-Magnitudo wilayah Jawa Tengah.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara magnitudo dan frekuensi gempa bumi yang kuat. Dimana magnitudo berbanding terbalik sangat kuat dengan frekuensi gempa bumi. Hal ini menandakan semakin besar magnitudo maka semakin kecil frekuensi gempa bumi di wilayah Jawa Tengah. Nilai kerapuhan batuan (*b*-value) wilayah Jawa Tengah sebesar 0,65 dan keaktifan seismik sebesar 5,398. Hal ini mengindikasikan bahwa keadaan seismotektonik di wilayah Jawa Tengah cukup tinggi.

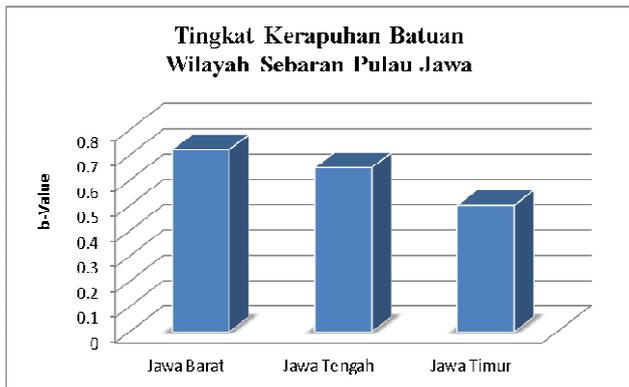


Gambar 4 Grafik Hubungan Frekuensi-Magnitudo wilayah Jawa Timur.

Dari Gambar 4 menunjukkan hubungan antara magnitudo dan frekuensi gempa bumi yang kuat. Dimana magnitudo berbanding terbalik sangat kuat dengan frekuensi gempa bumi. Hal ini menandakan semakin besar magnitudo maka semakin kecil frekuensi gempa bumi di wilayah Jawa Timur. Nilai kerapuhan batuan (*b*-value) wilayah Jawa Timur sebesar 0,503 dan keaktifan seismik sebesar 4,913. Hal ini mengindikasikan bahwa keadaan seismotektonik di wilayah Jawa Timur cukup tinggi. Minimnya nilai *b* yang diperoleh Jawa Timur dibandingkan dengan kedua bagian yang lain, menandakan bahwa batuan di wilayah Jawa Timur masih dalam keadaan rapat (tingkat kerapuhan kecil) sehingga di wilayah ini lebih berpotensi untuk terjadi gempa dengan kekuatan yang besar dibandingkan kedua bagian sebaran yang lain.

Pembahasan

Dari semua hasil yang didapatkan pada setiap bagian didapatkan *b-value* tertinggi dimiliki oleh Jawa Barat dengan *b-value* sebesar 0,721 disusul dengan Jawa Tengah (0,65) dan Jawa Timur (0,503). Hal ini menandakan bahwa Jawa Barat memiliki kerapuhan batuan lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur. Perbandingan tingkat kerapuhan batuan antara 3 bagian sebaran wilayah pulau Jawa dapat dilihat dalam grafik berikut.

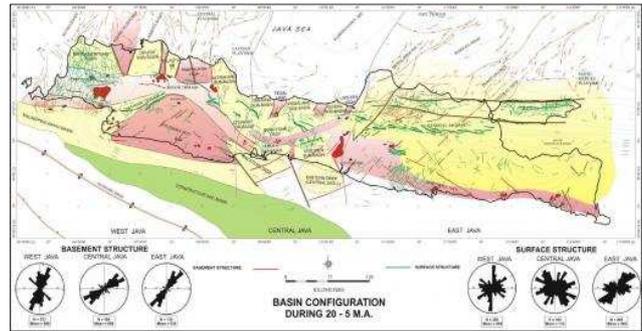


Gambar 5 Grafik perbandingan tingkat kerapuhan batuan di sebaran wilayah Jawa.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa wilayah Jawa Timur memiliki aktivitas seismik yang kecil dibandingkan Jawa Barat dan Jawa Tengah. Besar *b-value* yang diperoleh sesuai dengan kesimpulan yang telah dituliskan dalam jurnal Rohadi (2009) dalam penelitiannya yang membahas mengenai distribusi spasial dan temporal seismotektonik wilayah subduksi Jawa. Tingkat kerapuhan batuan (*b-value*) di wilayah pulau Jawa berkisar antara 0,5-2,3, sedangkan *a-value* berkisar antara 4-13.

Besar kecilnya seismisitas suatu daerah juga dipengaruhi oleh tua atau mudanya batuan yang terdapat pada wilayah tersebut. Semakin tua umur suatu batuan maka semakin besar aktifitas seismik yang terjadi. Untuk pulau Jawa, batuan dasar (*Basement*) tersusun oleh batuan malihan (matamorfik), serta batuan beku. Batuan dasar di Jawa barat lebih tua jika dibandingkan dengan batuan di Jawa Tengah dan Jawa timur, hal ini dikarenakan batuan dasar di Jawa Timur terbentuk pada tahap-tahap akhir setelah ditubruk lempeng Indo-Australia dan menumpuk membentuk batuan dasar di Jawa Timur (Juanita, 2001).

Pada 20 juta tahun sebelum masehi, zona tubrukan lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia terkunci dan menyebabkan menjamahnya lempeng Indo-Australia dibawah lempeng Eurasia. Penunjaman ini berlangsung hingga sekarang dan menyebabkan munculnya patahan-patahan (sesar) di pulau Jawa. Berikut peta patahan yang terdapat pada wilayah-wilayah di pulau Jawa.



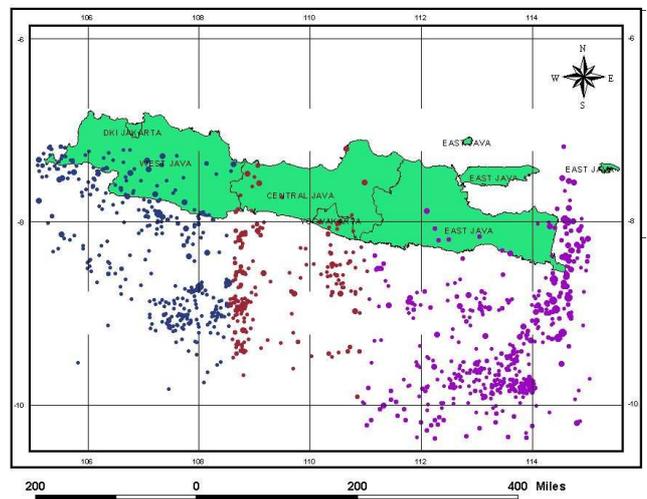
Gambar 6 Peta patahan batuan di pulau Jawa (Juanita, 2002).

Pada Gambar 6 terlihat bahwa yang digariskan warna merah merupakan patahan dari batuan dasar, sedangkan yg warna hijau patahan yg telah terlihat dipermukaan saat ini. Patahan terjadi ketika suatu batuan mengalami retakan terlebih dahulu, kejadian ini berkaitan erat dengan tekanan dan kekuatan batuan yang mendapatkan gaya sehingga timbul adanya retakan. Tekanan yang diberikan mampu memberikan perubahan pada batuan dalam waktu yang sangat lama. Ketika ini terjadi, maka akan timbul sebuah gaya yang sangat besar yang berdampak getaran bagi sekitarnya yang disebut dengan gempa.

4.3 Pemetaan Episenter Gempa Bumi

Dari data yang diperoleh, maka dapat diperoleh hasil pemetaan sebaran episenter gempa bumi di wilayah pulau Jawa periode 1964-2012 sebagai berikut :

Peta Sebaran Episenter Gempa Bumi Wilayah Jawa Periode 1964-2012



Gambar 7 Peta sebaran episenter Gempa Bumi wilayah Jawa periode 1964-2012.

Pemetaan gempa bumi tersebut dilakukan untuk mengetahui letak episenter gempa bumi dan dipetakan dengan menggunakan program ArcView Gis 3.3. Dari pemetaan tersebut terlihat bahwa wilayah Jawa Timur lebih sering terjadi gempa dengan magnitudo yang besar dibandingkan dengan Jawa Barat dan Jawa Tengah. Hal ini sesuai dengan hasil analisis yang telah dibahas pada bab sebelumnya bahwa wilayah dengan *b-value* yang rendah berpotensi lebih besar untuk terjadi gempa bumi. Pada dasarnya sifat penjarangan gelombang seismik

bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya. Batuan elastis yang mengalami *stress* maka akan terdeformasi atau mengalami perubahan bentuk maupun dimensi. Perubahan tersebut disebut dengan regangan atau dalam ilmu kebumiharian biasa disebut dengan kerapuhan batuan. Gelombang seismik yang merambat di batuan yang rapat atau tingkat kerapuhannya rendah maka kecepatan merambatnya lebih kecil dibandingkan dengan batuan yang memiliki tingkat kerapuhan batuan yang tinggi. Dengan kecepatan merambat yang kecil mengakibatkan penumpukan energi dalam bumi relatif lama sehingga akumulasi energi yang dihasilkan juga akan lebih besar. Karena penumpukan energi yang terlalu lama dalam batuan, sehingga disaat batuan yang rapat tersebut sudah tidak mampu lagi menahannya maka akan timbul *stress* dengan magnitudo yang besar pula.

Pada Gambar 7 di atas terlihat bahwa gempa banyak terjadi di laut sebelah selatan pulau Jawa. Seperti yang telah tertera pada lampiran II bahwa jalur tektonik pada pulau Jawa memang terdapat di selatan pulau Jawa. Penelitian ini menguatkan analisa Juanita (2002) yang menyatakan bahwa Secara geologi, pulau Jawa merupakan kawasan episenter gempa bumi karena dilintasi oleh patahan kerak bumi lanjutan patahan kerak bumi dari pulau Sumatera yang berada dilepas pantai selatan pulau Jawa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada IRIS (<http://www.iris.edu/SeismiQuery.htm>) yang telah menyediakan akses data gempa sehingga memudahkan penulis untuk mendapatkan fasilitas mengunduh data gempa pada badan yang terpercaya.

PENUTUP

Simpulan

1. Hubungan frekuensi kejadian gempa bumi dengan magnitudo gempa bumi di wilayah Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur pada tahun 1964-2012 menunjukkan hasil yang sama yaitu semakin besar frekuensi maka semakin kecil magnitudo gempa bumi;
2. Wilayah Jawa Barat memiliki tingkat kerapuhan batuan (*b-value*) yang lebih besar (0,721) dibandingkan dengan Jawa Tengah (0,65) dan Jawa Timur (0,503). Hal ini menandakan bahwa wilayah Jawa Barat memiliki tingkat kerapuhan batuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa wilayah Jawa Timur memiliki potensi gempa dengan kekuatan lebih besar dibandingkan wilayah Jawa Barat dan Jawa Tengah. Dari nilai *b-value* yang didapatkan, pulau Jawa memiliki tingkat seismisitas yang tinggi.

Saran

Pengambilan data sebanyak-banyaknya, karena semakin banyak data yang diambil maka hasil yang didapatkan memiliki peluang lebih baik dan akurat serta perbandingan dengan metode selain metode kuadrat

terkecil sangat penting untuk mengetahui manakah metode yang paling akurat untuk analisis statistik tingkat seismisitas suatu wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*. Institut Teknik Bogor. Bandung
- Alabi, A. A., Akinyemi, O. D., Adewale, A. 2013. *Seismicity Pattern in Southern Africa from 1986 to 2009*. Earth Science Research Vol 2, No 2, 2013. Canadian Center of Science and Education. Nigeria
- Asyhari, A. 2011. *Pendekatan Geomorfologi untuk Penentuan Kawasan Bahaya Tsunami di Kabupaten Bantul Bagian Selatan*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2012. *Gempabumi*. www.bmkg.go.id/bmkgpusat/Geofisika/Gempabumi/Default.bmkg. Diakses pada tanggal 20 September 2012
- Budiono, A. 2011. *Evaluasi Peak Ground Acceleration untuk Peta Gempa Indonesia di Kota Padang*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong
- Juanita, R. 2002. *Pembentukan Pulau Jawa dan Patahan-patahan yang Tersebar di Pulau Jawa*. Bandung
- Malik, Y. 2006. *Gempabumi*. Jurusan Pendidikan Geografi. Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung
- Oktaviani, A. 2012. *Tektonik Lempeng dan Komposisi Bumi*. Lembaga Pelatihan Olimpiade Sains Nasional. Jakarta
- Rohadi, S. 2009. *Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Subduksi Jawa*. Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah II Jakarta. Jakarta
- Rusdin, A. A. 2009. *Analisa Statistik Seismisitas Sulawesi Selatan dan Sekitarnya (Tahun 1938 – 2008)*. Akademi Meteorologi dan Geofisika. Jakarta
- Siddiq, S. 1999. *Uji Eksperimental dan Desain Struktur bangunan Rendah Sebagai Alternatif Perbaikan Struktur Bangunan-Penduduk di Daerah Gempa*. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Sudjana, M.A 1989. *Metoda Statistika Edisi 6*. TARSITO. Jakarta
- Thobaroni, A. 2004. *Studi B Value Untuk Mengetahui Seismotektonik Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Gempa Wilayah Jawa Timur Dengan Menggunakan Metode Least Square Dan Maksimum Likelihood (Skripsi yang tidak dipublikasikan)*. Malang: Universitas Brawijaya