

KORELASI VARIASI b-VALUE DENGAN MEKANISME FISIS DAN PRODUKTIVITAS GEMPABUMI PADA SUATU DAERAH

Ratri Andinisari¹, Yosimson P. Manaha¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang

E-mail: aratri@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Seismic b-value merupakan salah satu parameter statistik yang dapat digunakan untuk mempelajari produktifitas dan distribusi sebaran magnitudo gempabumi suatu area secara mendalam. b-value itu sendiri menggambarkan proporsi magnitudo gempabumi di suatu area pada periode tertentu. Parameter ini dapat pula digunakan dalam berbagai analisis kegempaan, misalnya estimasi kala ulang gempabumi bermagnitudo tinggi, interpretasi jenis patahan yang mengalami ruptur, variasi kedalaman dan struktur kerak bumi di area terjadinya gempa, dan variasi aktivitas vulkanik pada area sekitar gunungapi. Dalam studi ini dideskripsikan metode estimasi b-value sebagai fungsi waktu dan keruangan, serta faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi b-value.

Kata kunci: b-value, seismisitas, magnitudo

ABSTRACT

The seismic b-value is one of the statistical parameters that can be used to study the productivity and distribution of earthquake magnitudes in an area. The b-value itself describes the proportion of earthquake magnitudes in a specific area during a certain period of time. This parameter can also be utilized in various seismological analysis, such as estimating the recurrence interval of large magnitude earthquakes, interpreting the type of fault that undergoes rupture, variations in depth and crustal structure in the earthquake-prone area, and variations in volcanic activity in the vicinity of a volcano. In this study, the estimation method of the b-value is described as a function of time and space, along with the factors that influence the b-value.

Keywords: b-value, seismicity, magnitude

PENDAHULUAN

Area sepanjang zona subduksi merupakan area yang kaya akan kegempaan karena lokasi dan tatanan tektoniknya. Pada umumnya, akan ditemukan banyak gempa bumi dengan magnitudo sedang hingga tinggi yang disertai dengan aftershock bermagnitudo lebih rendah pada area tersebut. Meskipun demikian, seismisitas pada beberapa area di sepanjang zona subduksi tidak mencerminkan sebaran magnitudo ini, misalnya zona subduksi di bagian selatan Jawa Timur.

Tatanan seismotektonik Jawa terdiri atas lempeng Australia yang tersubduksi ke utara di bawah lempeng Eurasia. Hasil dari subduksi ini adalah terbentuknya rantai gunungapi dan aktivitas seismik yang tinggi di sepanjang pulau Jawa. Tatanan seismotektonik ini juga menyebabkan tingginya kerentanan Pulau Jawa terhadap gempa megathrust dengan magnitudo yang tinggi. Akan tetapi berdasarkan katalog yang dirilis BMKG, gempabumi dengan magnitudo tertinggi yang terjadi di Jawa adalah 8.0 dan hanya terdapat sebanyak 9 gempabumi destruktif dengan momen magnitudi 5.9-7.7 selama 65 tahun terakhir. Ketidaksesuaian

antara tatanan seismotektonik dan produktifitas gempabumi yang teramati juga terjadi pada beberapa daerah lain selain Pulau Jawa. Untuk memahami produktifitas dan distribusi sebaran magnitudo gempabumi suatu area secara mendalam, salah satu parameter statistik yang dapat digunakan adalah seismic b-value.

Dalam manuskrip ini akan dijabarkan definisi b-value, metode kalkulasi b-value secara spasial dan temporal, beserta interpretasinya secara fisis.

DASAR TEORI

Ishimoto dan Iida (1939) serta Gutenberg dan Richter (1944) menyatakan bahwa magnitudo gempabumi di suatu area akan mengikuti power law pada Persamaan 1 berikut ini.

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

Dimana M adalah magnitudo gempabumi, N adalah jumlah total gempabumi dengan magnitudo sama dengan atau lebih besar dari M , serta a dan b masing-masing adalah konstanta bernilai positif. Konstanta a merupakan nilai logaritmik total gempabumi dengan magnitudo lebih besar dari M yang dapat diartikan sebagai ukuran produktivitas

gempabumi di suatu area. Konstanta b , atau yang biasa disebut b -value, menggambarkan proporsi magnitudo gempabumi di suatu area pada periode tertentu (Gutenberg dan Richter, 1954; El-Isa dan Eaton, 2014; Konstantinou, 2022). Hubungan antar paramater yang terdapat pada Persamaan 1 dapat digunakan dalam berbagai analisis kegempaan, misalnya estimasi kala ulang gempabumi bermagnitudo tinggi (Smith, 1986; Sahu dan Saikia, 1994; Wyss dan Stefansson, 2006), interpretasi jenis patahan yang mengalami ruptur (Schorlemmer dkk., 2004), variasi kedalaman dan struktur kerak bumi di area terjadinya gempa (Hauksson dkk., 2002; Enescu dkk., 2011), dan variasi aktivitas vulkanik pada area sekitar gunungapi (Konstantinou, 2022; Schorlemmer dkk., 2004; Wyss dkk., 2004). Oleh karena itu, variasi b -value dapat digunakan pada analisis probabilitas terjadinya gempa dengan magnitudo tertentu pada suatu daerah. b -value dapat pula dikalkulasi secara spasial dan digunakan sebagai acuan dalam penentuan area rawan gempabumi.

METODE

Estimasi b -value dapat dilakukan dengan menggunakan metode maximum likelihood yang diformulasikan oleh Aki (1965) dan Utsu (1965) pada Persamaan 2.

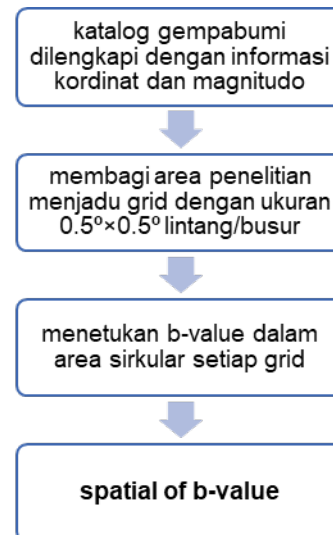
$$b = \frac{\log e}{\langle M \rangle - (M_c - \delta M / 2)} \quad (2)$$

Dimana $\langle M \rangle$ merupakan rata-rata magnitudo gempabumi, δM adalah lebar binning yang digunakan dalam histogram distribusi magnitudo gempabumi. Dalam berbagai perhitungan, δM biasanya bernilai 0,1. M_c adalah magnitudo dengan nilai terkecil yang dapat dideteksi sepenuhnya oleh seismic network yang digunakan. Di Indonesia, pada umumnya M_c bernilai 3,3 sehubungan dengan magnitudo gempabumi terendah yang terdeteksi oleh seismic network BMKG.

Spatial dan temporal b -value dapat ditentukan dengan menggunakan metode yang dikemukakan oleh Nuannin dkk. (2005). Selanjutnya, metode kalkulasi b -value akan dibagi ke dalam dua kategori, yaitu b -value sebagai fungsi waktu (temporal b -value) dan b -value sebagai fungsi lokasi (spatial b -value).

Spatial b-value

Kalkulasi spatial b -value dapat dilakukan dengan langkah-langkah yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir yang memuat langkah-langkah kalkulasi spatial b -value

Hasil akhir distribusi spatial b -value dapat membantu peneliti dalam menentukan zona-zona rawan bencana gempabumi. Adapun contoh hasil perhitungan spatial b -value terdapat pada Gambar 2.

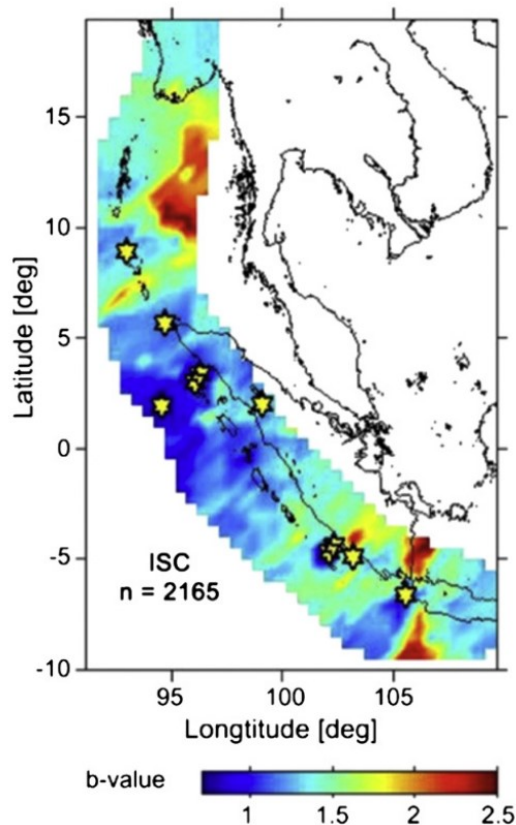
Temporal b-value

Sementara itu, temporal b -value dapat dihitung dengan menerapkan metode pada diagram alir pada Gambar 3.

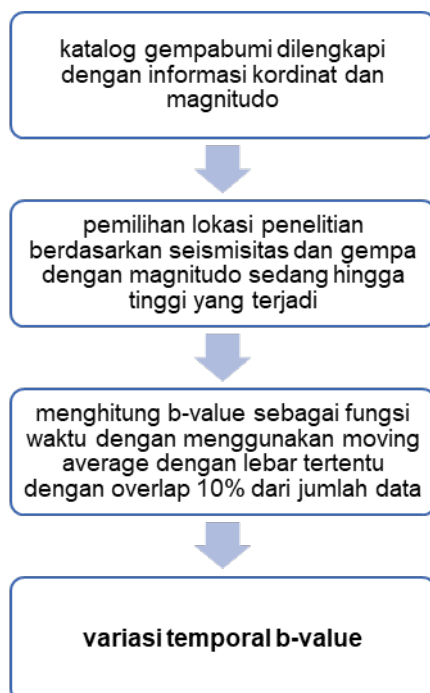
PEMBAHASAN

Klasifikasi variasi b -value telah dilakukan oleh beberapa studi terdahulu, dengan rincian sebagai berikut:

1. Peningkatan b -value sebelum terjadinya gempabumi dengan magnitudo tinggi diikuti dengan penurunan b -value setelah terjadinya mainshock. Variasi b -value serupa ditemukan di Venezuela (Smith, 1981), Selandia Baru (Smith, 1981, 1986), dan California (Smith 1981, 1986).



Gambar 2. Variasi spasial b-value di sepanjang daerah Sumatra-Andaman berdasarkan data ISC pada tahun 1964-2003. Bintang berwarna kuning menunjukkan episenter mainshock dengan $M \geq 6,5$ (Nuannin, 2006).



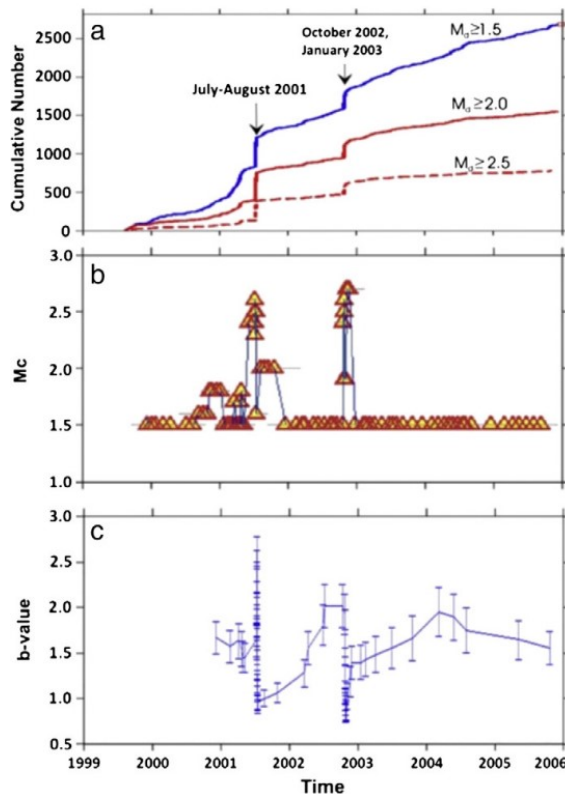
Gambar 3. Diagram alir yang memuat langkah-langkah kalkulasi temporal b-value

mainshock. Penurunan b-value ini mungkin berhubungan dengan fluktuasi nilai b-value yang dari periode siklus gempabumi yang berbeda, adanya coseismic rupture (Wyss and Stefansson, 2006; Main dkk, 1989)

3. Peningkatan b-value sebelum terjadinya gempabumi dengan penurunan nilai sesaat sebelum terjadinya mainshock. Variasi b-value semacam ini dideteksi pada gempa India-Vietnam tahun 1988. b-value di sekitar lokasi episenter gempa meningkat dari kisaran ~ 0.6 pada tahun 1967 ke 1.33 pada July 1987, diikuti penurunan nilai sebelum terjadinya gempa pada tahun 1988 (Sahu dan Saikia, 1994).
4. Terjadinya foreshock dan aftershock dapat menyebabkan penurunan b-value, terlebih jika produktivitas foreshock cukup tinggi. Dalam hal ini, variasi b-value kemungkinan besar terkait dengan perubahan regional stress sebelum dan sesudah terjadinya mainshock.
5. Variasi b-value terkait dengan karakteristik tektonik dan jenis patahan. Area di sekitar patahan normal memiliki b-value yang tinggi, sebaliknya area di sekitar patahan reverse biasanya memiliki b-value yang rendah (Schorlemmer dkk, 2004).
6. Variasi b-value di sepanjang patahan aktif. b-value pada bagian patahan yang bergerak memiliki b-value yang tinggi, sedangkan pada bagian yang tidak bergerak (asperities) memiliki b-value yang relatif lebih rendah (Zhao dan Wu, 2008).
7. b-value memiliki bernilai tinggi pada kedalaman beberapa kilometer dan berkurang seiring meningkatnya kedalaman (Wiemer dkk, 1998).
8. Variasi b-value akibat struktur kerak bumi, ketebalan kerak, jenis batuan, properti fisis, dan heterogenitas (Enescu dkk, 2011).
9. Variasi b-value terkait jenis dan karakteristik aktivitas vulkanik. Area sekitar gunungapi biasanya bernilai b-value tinggi (Wyss dkk, 2004). Contoh variasi b-value pada area vulkanik dapat disimak pada Gambar 4.

Seperti yang telah disebutkan di atas, berbagai skenario telah diusulkan untuk menjelaskan variasi b-value, antara lain inhomogenitas bawah permukaan tanah, kedalaman, tatanan tektonik, transportasi panas dan fluida yang berasal dari kondisi geotermal dan vulkanik, pengelompokan seismisitas, serta karakteristik petrologi, geofisika, dan rheologi zona gempa.

2. Penurunan b-value sebelum terjadinya gempabumi dengan magnitudo tinggi diikuti dengan peningkatan b-value setelah terjadinya



Gambar 4. Variasi b-value di sekitar Gunungapi Etna, Italia, pada periode Agustus 1999 hingga Desember 2005 (Murru dkk, 2007). Tanda panah pada (a) menunjukkan peristiwa letusan yang berkorelasi positif dengan peningkatan seismisitas dan b-value pada (b) dan (c).

Dalam konteks penyebab yang beragam ini, inkonsistensi mendasar dalam interpretasi variasi b-value tetap ada, misalnya beberapa studi terdahulu menyimpulkan bahwa b-value meningkat seiring dengan peningkatan tekanan, sedangkan studi lain melaporkan perilaku sebaliknya. Demikian pula, beberapa penelitian menunjukkan bahwa b-value mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kedalaman, sementara penelitian lain menentang kesimpulan ini. Meskipun sebagian besar peneliti setuju bahwa b-value paling tinggi untuk patahan normal dan relatif lebih rendah untuk patahan reserve, pandangan ini pun tidak berlaku secara universal. Penggunaan metodologi yang berbeda dan tidak kompatibel untuk menghitung nilai b dapat menjadi sumber ketidaksesuaian ini (El-Isa dan Eaton, 2013). Oleh karena itu, studi lanjutan dengan melibatkan kombinasi lintas disiplin yang terdiri atas survey lapangan, analisis teoritis, simulasi geomekanika, dan pengujian secara eksperimental diperlukan untuk menjelaskan dan mengkalibrasi korelasi antar parameter yang mempengaruhi variasi spatial dan temporal b-value.

KESIMPULAN

Dalam seismologi-statistik, b-value menggambarkan proporsi magnitudo gempabumi di suatu area pada periode tertentu. Variasi b-value dapat ditentukan baik secara temporal maupun secara spasial. Variasi b-value dipengaruhi oleh berbagai parameter, antara lain faktor inhomogenitas bawah permukaan tanah, kedalaman, tatanan tektonik, transportasi panas dan fluida yang berasal dari kondisi geotermal dan vulkanik, pengelompokan seismisitas, serta karakteristik petrologi, geofisika, dan rheologi zona gempa. Akan tetapi studi lanjutan masih sangat diperlukan untuk meningkatkan konsistensi analisis b-value serta korelasinya dengan mekanisme fisis terjadinya gempabumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan memfasilitasi penelitian seputar b-value ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo* 43, 237–239.
- anomaly from fracture mechanics. *Geophys. J. Int.* 96 (1), 131–138
- El-Isa, Z., 2013. Continuous cyclic variations in the b value of the earthquake frequency–magnitude distribution. *Earthq. Sci.* <http://dx.doi.org/10.1007/s11589-013-0037-9>
- El-Isa, Z.H., Eaton, D.W., 2014. Spatiotemporal variations in the b-value of earthquake magnitude-frequency distributions: Classifications and causes. *Tectonophysics* 615–616, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.12.001>.
- Enescu, B., Enescu, D., Ito, K., 2011. Values of b and p: their variations and relation to physical processes for earthquakes in Japan and Romania. *Rom. J. Phys.* 56, 590–610.
- Gutenberg, B., Richter, C. F., (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34 (4), 185–188, doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0340040185>
- Gutenberg, B., Richter, C., (1954). *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*. vol. 2. Princeton University Press.
- Hauksson, E., Jones, L., Hutton, K., 2002. The 1999 Mw 7.1 Hector Mine, California, earthquake sequence: complex conjugate strike-slip faulting. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92 (4), 1154.
- Ishimoto, M. and Iida, K., (1939). Observations of Earthquakes Registered with the Micro Seismograph Constructed Recently. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 17, 443–478.
- Konstantinou, K. I., (2022). Multiyear temporal variation of b-values at Alaskan volcanoes: The synergetic influence of stress and material heterogeneity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 427. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107572>

- Main, I., Meredith, P., Jones, C., 1989. A reinterpretation of the precursory seismic b-value
- Murru, M., Console, R., Falcone, G., Montuori, C., Sgroi, T., 2007. Spatial mapping of the b-value at Mount Etna, Italy using earthquake data recorded from 1999 to 2005. *J. Geophys. Res.* 112 B12303.
- Nuannin, P., 2006. The Potential of b-value Variations as Earthquake Precursors for Small and Large Events. Uppsala University (Ph.D. thesis)
- Nuannin, P., Kulhanek, O., Persson, L., 2005. Spatial and temporal b value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004. *Geophys. Res. Lett.* 32 (11), L11307.
- Sahu, O., Saikia, M., 1994. The b value before the 6th August, 1988 India–Myanmar Border Region Earthquake—a case study. *Tectonophysics* 234 (4), 349–354.
- Schorlemmer, D., Wiemer, S., Wyss, M., 2004. Earthquake statistics at Parkfield: 1. Stationarity of b values. *J. Geophys. Res.* 109.
- Smith, W., 1981. The b-value as an earthquake precursor. *Nature* 289, 136–139.
- Smith, W., 1986. Evidence for precursory changes in the frequency–magnitude b-value. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 86 (3), 815–838. *Syst. Sci.* 8, 1375–1385.
- Utsu, T., 1965. A method for determining the value of b in a formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude–frequency relation for earthquakes. *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.* 13, 99–103.
- Wiemer, S., McNutt, S., Wyss, M., 1998. Temporal and three-dimensional spatial analyses of the frequency–magnitude distribution near Long Valley Caldera, California. *Geophys. J. Int.* 134 (2), 409–421.
- Wyss, M., Sammis, C., Nadeau, R., Wiemer, S., 2004. Fractal dimension and b-value on creeping and locked patches of the San Andreas fault near Parkfield, California. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 94 (2), 410.
- Wyss, M., Stefansson, R., 2006. Nucleation points of recent main shocks in southern Iceland, mapped by b-values. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96 (2), 599.
- Zhao, Y.Z., Wu, Z.L., 2008. Mapping the b-values along the Longmenshan fault zone before and after the 12 May 2008, Wenchuan, China, Ms 8.0 earthquake. *Nat. Hazards Earth*