

PERUBAHAN SPATIO-TEMPORAL B-VALUE GEMPA MIKRO DI LAPANGAN PANASBUMI X

Vani Novita Ningtyas SC¹; Sukir Maryanto¹; Tommy Hendriansyah²

¹Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Brawijaya Malang

²PT Pertamina Geothermal Energy

Email: vaninovita@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai karakteristik gempa mikro di lapangan panasbumi X. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik gempa mikro terkait dengan variasi spatio-temporal parameter *b-value*. Data yang digunakan merupakan data sekunder milik PT Pertamina Geothermal Energy sebanyak 138 kejadian gempa mikro yang terjadi selama periode 2013-2014. Perhitungan parameter *b-value* dilakukan dengan metode *maximum likelihood* di program ZMAP dengan analisa variasi secara spasial dan temporal. Hasil perhitungan *b-value* di lapangan panasbumi X cukup tinggi yaitu sekitar 1 – 3 dan mengindikasikan bahwa keadaan batuan daerah penelitian heterogen serta cenderung tidak mengakumulasi stress sehingga banyak gempa mikro yang terjadi. Variasi spasial *b-value* menunjukkan bahwa di sekitar sumur injeksi *b-value* cenderung tinggi (1.9 – 2.1) akibat peningkatan tekanan dibandingkan dengan di area sumur produksi dengan *b-value* 1.6 – 1.8. Variasi temporal *b-value* menunjukkan dua pola seismisitas di lapangan panasbumi X yaitu penurunan *b-value* diikuti dengan gempa berukuran besar (bulan April, Agustus, September dan Desember 2013 serta Februari 2014) serta ketika *b-value* meningkat banyak gempa mikro yang terjadi (bulan April 2013 serta Januari dan April 2014).

Kata Kunci : *b-value*, gempa mikro, panasbumi.

PENDAHULUAN

Lapangan panasbumi X merupakan salah satu lapangan panasbumi di Indonesia yang aktif beroperasi sejak tahun 1982. Hingga sekarang, lapangan ini memiliki beberapa unit PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi) dengan total kapasitas mencapai 200 MW [1]. Kegiatan industri panasbumi seperti produksi dan reinjeksi menyebabkan banyak terjadi gempa mikro di area tersebut.

Metode MEQ (*microearthquake*) merupakan salah satu metode monitoring yang dilakukan di lapangan panasbumi X untuk menganalisis gempa berukuran kecil (≤ 3 SR) dengan $t_s - t_p \leq 3$ sekon. Gempa mikro di area panasbumi biasanya berhubungan dengan perubahan tekanan, pori batuan, dan alterasi geokimia pada permukaan *fracture* yang berkorelasi dengan aktivitas eksploitasi [2].

Berbagai aplikasi dalam monitoring gempa mikro di lapangan panasbumi X telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan analisis tujuan yang beragam. Analisis parameter *b-value* merupakan salahsatu

aplikasi dalam monitoring gempa mikro yang sering digunakan di area panasbumi untuk menggambarkan pola seismisitas namun belum pernah diaplikasikan di lapangan panasbumi X.

Penelitian ini melakukan analisis parameter *b-value* secara spasial dan temporal untuk melengkapi informasi dalam upaya mitigasi di lapangan panasbumi X karena mampu merepresentasikan akumulasi *stress* dan tingkat kerapuhan batuan.

Pola seismisitas suatu daerah dapat diketahui dengan analisis hubungan frekuensi dan magnitudo yang dijabarkan pada persamaan Gutenberg & Richter [3] yaitu $\log N = a - bM$. Dimana N adalah jumlah gempa yang digunakan pada penelitian dengan magnitudo M, a dan b merupakan konstanta. Konstanta a atau *a-value* merupakan konstanta produktivitas gempa, sedangkan konstanta b atau *b-value* adalah konstanta distribusi gempa. *B-value* menunjukkan gradien dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo. Konstanta ini berhubungan dengan keadaan tektonik dan sifat batuan yang bisa

menggambarkan aktivitas *stress* lokal. Konstanta *b* merupakan parameter gempa yang mengukur akumulasi *stress* pada batuan. *B-value* rendah berhubungan dengan *shear stress* yang tinggi, begitu juga sebaliknya [4].

METODE PENELITIAN

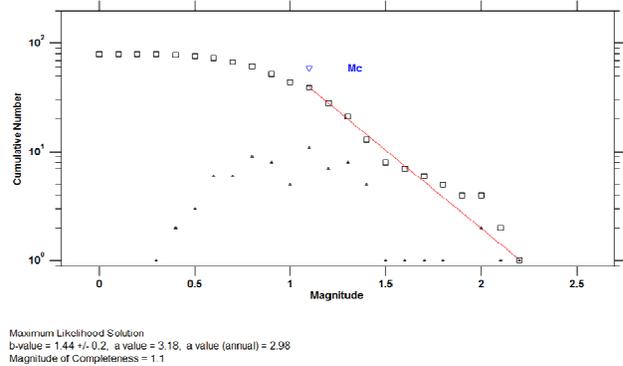
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder milik PT Pertamina Geothermal Energy. Data tersebut berupa 138 data hiposenter gempa mikro yang terekam oleh 11 seismometer 3 komponen pada periode tahun 2013-2014. Data pendukung yang digunakan adalah data koordinat stasiun dan sumur serta model kecepatan dari informasi petrofisik batuan daerah penelitian

Estimasi *b-value* dihitung dengan metode *maximum likelihood* [5] yang dijalankan pada program ZMAP [6]. Data input yang diperlukan berformat **.dat* yang berisi informasi mengenai *longitude*, *latitude*, tahun, bulan, tanggal, magnitudo, kedalaman, jam, dan menit seluruh kejadian gempa secara berurutan. Pada penelitian ini, parameter *b-value* dianalisis secara spasial dan temporal. Untuk analisa spasial, parameter yang digunakan adalah grid $0.01^0 \times 0.01^0$ disesuaikan dengan luasan daerah penelitian, M_c 1.1, jumlah event 138, serta minimum event adalah 2. Sedangkan input parameter untuk analisa temporal yaitu *sample window size* 12 hari, *minimum number* 20, dan *overlap* 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu hal yang penting dalam analisis data seismik pasif adalah mendefinisikan perubahan *spatio-temporal* seismisitas dengan parameter statistik. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah *b-value* yang menunjukkan akumulasi *stress*. Parameter *b-value* mengindikasikan jumlah kejadian gempa kecil relatif terhadap gempa besar. Lapangan panasbumi X merupakan daerah yang banyak menghasilkan gempa berukuran kecil dibandingkan gempa besar. Maka secara empiris, kurva frekuensi-magnitudo akan semakin curam dengan

gradien yang besar dibandingkan dengan daerah yang jarang terjadi gempa kecil namun sesekali melepaskan gempa besar. Seringkali parameter *b-value* dianalisis bersama dengan parameter *a-value* yang menunjukkan tingkat keaktifan seismik. Nilai *a-value* sebanding dengan parameter kerapuhan batuan *b-value*. Daerah dengan *a-value* tinggi cenderung memiliki *b-value* yang tinggi pula.



Gambar 1 Hubungan magnitudo dan frekuensi dengan *b-value* sebagai gradien dari kurva liniernya

Gambar 1 merupakan hasil perhitungan *b-value* menggunakan metode *maximum likelihood* di program ZMAP. Gambar 1 memberikan informasi mengenai *b-value* dan *a-value* rata-rata atau yang dominan di lapangan panasbumi X. Nilai *b-value* dominan adalah 1.44 dengan *a-value* 3.18. Apabila dibandingkan dengan wilayah lain, nilai ini cenderung tinggi karena biasanya *b-value* di area *non-geothermal* berkisar < 1 .

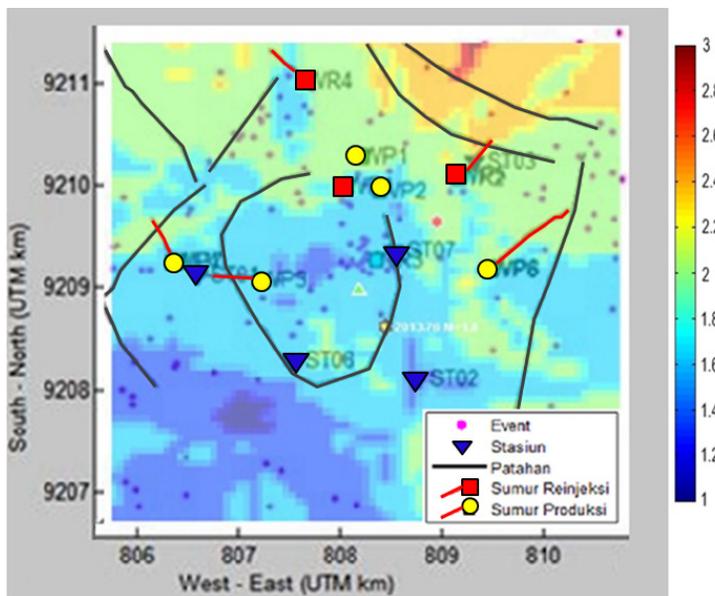
Hasil ini sesuai dengan penelitian Boroumand [7] yang menyebutkan bahwa *b-value* untuk data gempa mikro berkisar antara 1 hingga 2.5 dan berbanding terbalik dengan jumlah kejadian gempa. Nilai *b-value* yang tinggi pada daerah penelitian bisa jadi disebabkan oleh jumlah data yang kurang banyak karena pola seismisitas hanya dilihat pada periode dua tahun.

Parameter *b-value* yang tinggi di lapangan panasbumi X menunjukkan bahwa keadaan batuan cenderung lebih heterogen dengan tingkat kerapuhan yang tinggi dibandingkan daerah lain. Hal ini dikarenakan daerah penelitian merupakan wilayah industri

panasbumi yang tereksplotasi secara aktif sehingga banyak terdapat aliran fluida. Pada daerah dengan nilai b -value tinggi, $stress$ yang disimpan tidak besar karena langsung dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik yang menyebabkan banyak terjadinya gempa berukuran mikro.

A. Variasi Spasial b -value

Analisa spasial merupakan upaya analisa sebaran b -value dalam dimensi jarak. Peta pada Gambar 2 menunjukkan lokasi sebaran kejadian gempa mikro, stasiun perekam, patahan, dan sumur reinjeksi (WR) serta produksi (WP).



Gambar 2 Peta parameter seismisitas b -value di lapangan panasbumi X

Berdasarkan Gambar 2, lapangan panasbumi X memiliki nilai b -value dengan rentang antara 1- 3. B -value yang dominan di lapangan panasbumi X sekitar 1.4 – 1.9 tersebar dibagian tengah daerah penelitian. Di sekitar sumur reinjeksi (WR) b -value berkisar antara 1.9 – 2.1 dan lebih tinggi dibandingkan area di sekitar sumur produksi (WP) b -value 1.6 – 1.8.

Daerah disekitar sumur produksi dengan b -value rendah mengindikasikan bahwa gempa dominan berupa gempa berukuran besar relatif terhadap katalog data penelitian. Hasil ini sesuai dengan penelitian

Rivas [8] yang menunjukkan bahwa daerah injeksi cenderung memiliki b -value tinggi dibandingkan daerah produksi pada lapangan panasbumi. Pada daerah produksi $stress$ yang diakumulasikan lebih besar dibandingkan daerah injeksi sejalan dengan kesepakatan bahwa berkurangnya tekanan bisa meningkatkan kekuatan batuan. Meningkatnya tekanan fluida terhadap pori pada area injeksi mengakibatkan batuan melepaskan $stress$ secara kontinyu sehingga banyak menghasilkan gempa mikro.

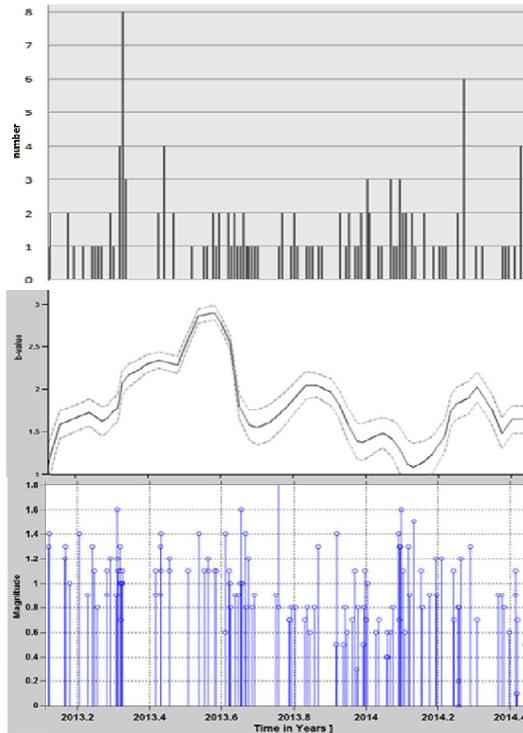
B. Variasi Temporal b -value

Gambar 3 merupakan pola b -value temporal di lapangan panasbumi X yang dikorelasikan dengan informasi magnitudo dan jumlah kejadian gempa mikro selama periode 2013-2014. Berdasarkan Gambar 3, pola dominan yang terlihat ada dua. Pola pertama terjadi pada bulan April, Agustus, September dan Desember 2013 serta Februari 2014. Dimana sebelum terjadi gempa dengan magnitudo besar (relatif terhadap katalog data), b -value cenderung menurun. Nilai b -value yang lebih rendah mengindikasikan meningkatnya seismik $hazard$ pada periode ini karena cenderung memunculkan gempa yang berukuran besar relatif terhadap katalog data. Pola berikutnya terlihat pada bulan April 2013 serta Januari dan April 2014 dimana ketika b -value tinggi banyak gempa mikro yang muncul.

Apabila dikorelasikan dengan kegiatan industri panasbumi, gempa mikro yang muncul pada pola pertama dapat dikaitkan dengan periode produksi. Karena ekstraksi uap pada kegiatan produksi mengakibatkan tekanan berkurang sehingga $stress$ rendah dan akumulasi $stress$ lebih banyak dibandingkan saat periode injeksi. Sedangkan gempa mikro yang muncul pada pola kedua dapat dikaitkan dengan periode injeksi. Karena ketika fluida diinjeksikan kedalam reservoir kompresi pada susunan batuan berkurang sehingga tekanan pori meningkat dan menimbulkan $crack opening$ yang menyebabkan banyak munculnya gempa mikro.

Namun tidak semua memiliki pola demikian, karena daerah penelitian melingkupi

wilayah yang luas dengan kondisi batuan yang heterogen sehingga analisis spasial tetap harus dipertimbangkan. Pola seismisitas spasial dan temporal ini kemudian dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam upaya mitigasi di area lapangan panasbumi X.



Gambar 3 Pola temporal jumlah gempa mikro, parameter *b-value* dan magnitudo di lapangan panasbumi X

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa parameter *b-value* di lapangan panasbumi X cenderung tinggi yaitu 1 - 3 karena merupakan lapangan panasbumi yang masih aktif beroperasi sehingga kegiatan injeksi dan produksi menyebabkan daerah ini cenderung tidak mengakumulasi stress karena *stress* langsung dilepaskan menjadi gempa berukuran mikro. Variasi spasial menunjukkan bahwa di area reinjeksi *b-value* berkisar antara 1.9 - 2.1 dan lebih tinggi dibandingkan area sumur produksi dengan *b-value* 1.6 - 1.8. Variasi temporal *b-value* di lapangan panasbumi X menunjukkan dua pola yaitu penurunan *b-value* diikuti dengan munculnya gempa berukuran besar (terjadi pada bulan April, Agustus, September, dan

Desember 2013). Pola kedua adalah saat *b-value* meningkat banyak gempa mikro yang terjadi (bulan April 2013 serta Januari dan April 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pertamina Geothermal Energy. *Working Areas*. <http://pge.pertamina.com/index.php/company-profile/working-area>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2015
- [2] Majer, E. L., R. Baria, M. Stark, S. Oates, J. Bommer, B. Smith, H. Asanuma. 2007. Induced Seismicity Associated With Enhanced Geothermal System. *Geothermics*. 36 : 185-222.
- [3] Gutenberg, B. & Richter, C. F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 34 : 185- 188.
- [4] Scholz, C. H. 1968. The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58 : 399-415.
- [5] Utsu, T. 1965. A Method for Determining the Value of *b* in a Formula $\log N = a - bM$ Showing the Magnitude Frequency for Earthquakes. *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.* 13 : 99-10
- [6] Wiemer, S. 2001. A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismol.* 72 : 373-382.
- [7] Boroumand, Neda. 2014. *Hydraulic Fracture b-value from microseismic events in different regions*. GeoConvention FOCUS
- [8] Rivas, J. Antonio. 2000. Seismic Monitoring and Its Application as an Exploration Tool in The Berlín Geothermal Field, El Salvador. *Geothermal Training Programme The United Nations University*. 17 : 355-384