

PERCEPATAN PELEPASAN ENERGI (*ACCELERATING MOMENT RELEASE*) SEBAGAI PREKURSOR SEBELUM TERJADI GEMPABUMI SIGNIFIKAN DAERAH BENGKULU DAN SEKITARNYA

Sabar Ardiansyah^{1,2}

¹Stasiun Geofisika Kepahiang-Bengkulu, ²Akademi Meteorologi dan Geofisika

E-mail : sabar.ardiansyah@bmkgo.go.id

ABSTRAK

Gempabumi merupakan gerakan atau hentakan tiba-tiba akibat pelepasan akumulasi energi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng, aktivitas sesar, aktivitas gunung api atau proses-proses lain hasil dari pelepasan akumulasi energi di dalam bumi. Sebelum terjadi gempabumi utama, biasanya akan didahului oleh suatu pola yang disebut sebagai prekursor. Pola ini antara lain fenomena kesenyapan seismik (seismic gap), penurunan (seismic quiescence) dan peningkatan (accelerating seismicity), dan perubahan kecepatan gelombang seismik. Kajian tentang accelerating seismicity atau accelerating moment release masih jarang dilakukan di Indonesia.

Dengan menggunakan data katalog gempabumi daerah Bengkulu periode tahun 1973 hingga 2013, akan dilihat pola peningkatan aktivitas kegempaan sebelum terjadi gempabumi signifikan di daerah Bengkulu. Dari hasil analisis memperlihatkan bahwa, sebelum gempabumi besar tanggal 4 Juni 2000 dan tanggal 12 September 2007, terjadi peningkatan aktivitas kegempaan. Hal ini mengindikasikan bahwa, sebelum terjadi gempabumi utama, akan didahului dengan peningkatan pelepasan energi dalam bentuk gempabumi-gempabumi kecil.

Kata Kunci : Prekursor, accelerating moment release.

PENDAHULUAN

Prekursor seismik paling mudah dipelajari karena kekayaan data katalog gempabumi dan efektivitas jaringan seismograf modern. Secara umum prekursor gempabumi dibagi ke dalam dua klasifikasi yaitu fenomena seismik dan nonseismik. Klasifikasi fenomena seismik antara lain kesenyapan seismik (*seismic gap*), penurunan (*seismic quiescence*) dan peningkatan aktivitas seismisitas (*accelerating seismicity*), serta perubahan kecepatan gelombang seismik. Sedangkan fenomena nonseismik yang termasuk dalam prekursor gempabumi merupakan suatu fenomena yang berhubungan langsung dengan deformasi lokal (ketinggian dan kemiringan tanah, tekanan batuan, ketinggian permukaan air tanah), termasuk juga medan listrik dan magnetik, emisi EM, emisi akustik, dan gas radon dan helium (Puslitbang BMKG, 2010).

Meskipun prediksi gempabumi saat ini masih menjadi perdebatan, namun pengamatan-pengamatan terhadap anomali kegempaan sebelum terjadi gempabumi besar masih banyak dijumpai. Studi terhadap pola kegempaan merupakan salah satu aspek penting dalam penelitian prediktabilitas gempabumi. Beberapa kasus menunjukkan bahwa anomali pola kegempaan dan variasi anomali tingkat kegempaan merupakan prekursor dalam skala waktu menengah dan pendek sebelum terjadi gempabumi besar (Wiemer dan Wyss, 1994; Wyss dan Habermann, 1998; Wyss dan Wiemer, 2000). Studi terhadap *seismicity quiescence* sering kali muncul sebagai prekursor untuk kejadian gempabumi besar (Wyss dan Habermann, 1988; Wyss dan Martirosyan, 1998; Wiemer dan Wyss, 1994). Di samping itu, tidak kalah menariknya yaitu kajian tentang *accelerating seismicity* (Vernes, 1989; Bufe dan Varnes,

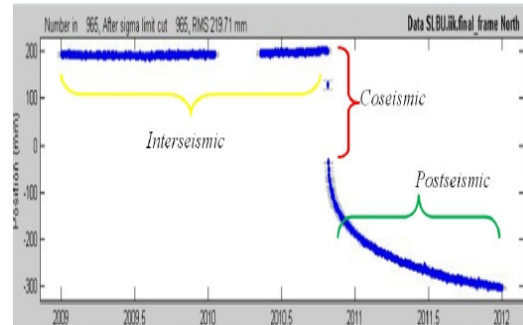
1990, 1993; Sornette dan Sammis, 1995; Newman *et al*, 1995) karena studi ini menunjukkan adanya pola anomali peningkatan aktivitas seismisitas sebelum terjadinya gempabumi besar.

Studi *accelerating seismicity*, atau disebut juga *accelerating moment release* berkaitan dengan peningkatan aktivitas seismisitas sebelum gempabumi besar, masih sangat jarang dilakukan di wilayah Indonesia. Sehingga kajian ini menarik untuk diterapkan di kawasan regional Indonesia pada umumnya dan skala lokal khususnya. Melalui paper ini, penulis mencoba menganalisis pola *accelerating moment release* sebelum terjadi gempabumi signifikan di daerah Bengkulu dan sekitarnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Gempabumi

Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi (BMKG, 2013). Gempabumi mempunyai sifat berulang, suatu gempa yang terjadi diwaktu tertentu akan terulang lagi dimasa yang akan datang dalam periode kurun waktu tertentu. Istilah perulangan gempabumi ini dinamakan siklus gempabumi (*earthquake cycle*) (Andreas, 2007). Di dalam satu siklus gempabumi terdapat beberapa tahapan mekanisme terjadinya gempabumi yang disertai dengan terjadinya deformasi pada kerak bumi. Secara garis besar, siklus gempabumi dibagi dalam tiga fase yaitu : *inter-seismic*, *co-seismic*, dan *post-seismic*. Ilustrasi mengenai ketiga fase tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :

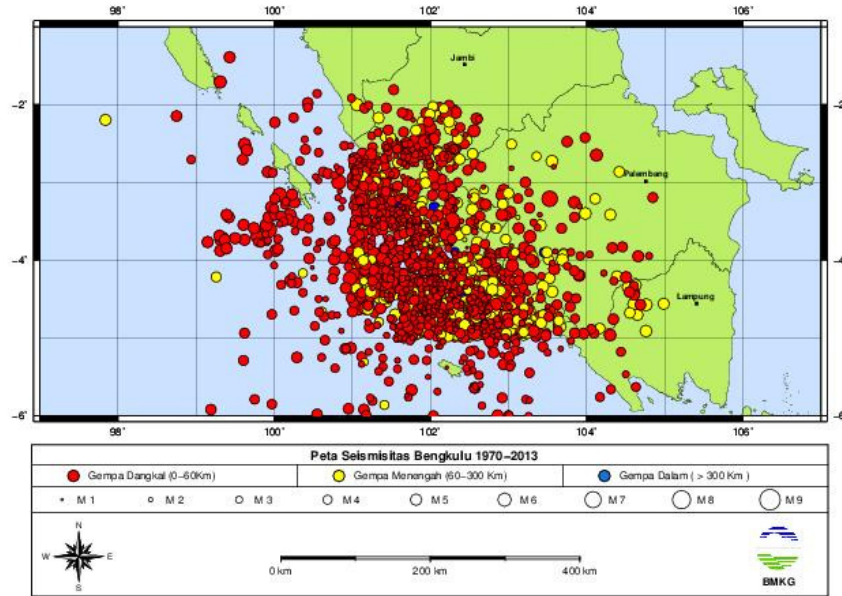


Gambar 1. Siklus terjadinya gempabumi pada stasiun SLBU tahun 2009 sampai 2011. Tanda dengan warna kuning menunjukkan tahap *inter-seismic*, warna merah menunjukkan tahap *co-seismic*, dan warna hijau menunjukkan tahap *post-seismic* (Permana et al., 2012).

Tahapan *inter-seismic* merupakan tahapan awal dari suatu siklus gempabumi. Pada tahap ini, arus konveksi di lapisan dalam bumi menyebabkan pergerakan lempeng sehingga menimbulkan akumulasi energi di tempat batas antara dua lempeng, tempat biasanya terjadi gempabumi. Tahapan *co-seismic* merupakan tahapan ketika terjadinya gempabumi dimana energi yang telah terakumulasi dari tahapan *inter-seismic* dilepaskan secara tiba-tiba. Sedangkan tahapan *post-seismic* merupakan tahapan ketika sisa-sisa energi gempabumi terlepas secara perlahan dalam kurun waktu tertentu sampai kembali ke tahap kesetimbangan awal yang baru (Permana et al., 2012).

METODE PENELITIAN

Data yang dipakai untuk analisis dalam tulisan ini menggunakan data katalog gempabumi daerah Bengkulu dan sekitarnya periode tahun 1973 – 2013 yang diambil dari website USGS (www.usgs.gov). Daerah studi meliputi koordinat 2,0 LS-6 LS dan 98 BT-104 BT.



Gambar 1. Peta daerah studi, Bengkulu serta seismisitasnya periode tahun 1973-2013.

Accelerating Moment Release

Setelah penumpukan akumulasi stress cukup lama, suatu blok batuan atau patahan akan melepaskannya dalam bentuk gempabumi besar. Namun, sebelum dilepaskan secara tiba-tiba akan didahului dengan gempabumi-gempabumi kecil yang ditandai dengan peningkatan seismisitas. Anomali ini menunjukkan pola yang menarik karena sangat penting untuk dijadikan petunjuk (prekursor) dalam waktu dekat sebelum terjadi gempabumi besar.

Bufe dan Varnes (1993) mengusulkan bahwa hubungan pangkat (*power-law*) sederhana sebelum terjadi *failure* pada patahan dapat dimodelkan dengan :

$$\epsilon_t = A + B(t_c - t)^m \dots\dots\dots(1)$$

Dengan t_c waktu terjadinya gempabumi utama, B konstanta biasanya berharga negatif, m konstanta harganya biasanya 0,3, dan A harganya sama dengan harga ϵ_t ketika $t=t_c$ atau harga akhir *benioff strain* saat terjadi gempabumi utama.

Perubahan katalog gempabumi dalam analisis aktivitas peningkatan seismisitas

sebelum gempabumi besar biasanya dilakukan dalam bentuk deret waktu *Benioff strain release* atau akar kuadrat energi di suatu daerah gempabumi yang besarnya pada waktu t adalah :

$$\epsilon_t = \sum_i^N E_i(t)^{1/2} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan E_i adalah energi gempabumi event ke- i . Konversi magnitudo menjadi energi dengan menggunakan formula dari Gutenberg dan Richter (1942) yang dinyatakan :

$$\log E_s = 11,8 + 1,5M_s \dots\dots\dots(3)$$

Hipotesa ini adalah sebuah upaya kemajuan untuk menjelaskan karakteristik atau fenomena sebelum terjadinya gempabumi besar (Rundle, 1989; Sornette and Sammis, 1995). Beberapa kajian yang sukses melihat pola adanya peningkatan seismisitas sebelum gempabumi besar antara lain dilakukan oleh Bufe dan Varnes (1993), mereka meneliti pola ini pada kasus gempabumi Loma Prieta pada tahun 1989 dengan kekuatan $M = 7,0$. Penelitian lain yang dilakukan oleh Lindh (1990), untuk gempabumi Kwanto tahun 1707 ($M=8,3$), gempabumi Fort Tejon ($M=1857$), dan gempabumi Tokyo tahun 1923 ($M=8,2$).

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan aktivitas seismisitas sebelum terjadi gempa bumi utama tersebut. Sammis *et al*, (1996) melakukan kajian gempa bumi dari California untuk gempa bumi berkekuatan $M > 6,5$ periode tahun 1950 sampai 1998. Hasilnya menunjukkan, semua gempa bumi pada sistem patahan San Andreas-California sebelum gempa bumi besar, didahului oleh peningkatan aktivitas seismisitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pemodelan siklus seismik yang diusulkan oleh Fedotov (1968), siklus seismik dimulai dan diakhiri oleh gempa bumi utama. Ada tiga tahap pada siklus ini, tahap pertama yaitu tahap pelepasan energi oleh gempa bumi susulan dari gempa bumi utama sebelumnya. Tahap kedua adalah interval yang sangat panjang dengan kegempaan yang relatif rendah (*seismic quiescence*). Sedangkan tahap ketiga adalah percepatan aktivitas seismik (*accelerating seismicity*) yang berpuncak pada gempa bumi utama berikutnya.

Tahap ketiga yang sering disebut tahap percepatan aktivitas pelepasan energi energi inilah yang telah menarik banyak perhatian karena memungkinkan pada tahap inilah bisa dilakukan prediksi kuantitatif untuk kejadian gempa bumi berikutnya dalam suatu siklus. Dengan kata lain bisa disebut sebagai prekursor gempa bumi (Bufe dan Vernes, 1993; Jaume dan Sykes, 1999).

Gempa bumi tanggal 4 Juni 2000 dan 12 September 2007 merupakan gempa bumi besar dalam dekade terakhir yang terjadi di wilayah Bengkulu. Gempa bumi pada tanggal 4 Juni 2000 dengan kekuatan 7,9 Mw terletak pada koordinat 4,75 LS 102,04 BT. Gempa bumi ini memiliki solusi bidang sesar dengan arah jurus atau *strike* 192° , kemiringan sudut atau *dip* 46° dan vektor slip atau *rake* 50° . Gempa bumi 4 Juni 2000 merupakan salah satu gempa bumi merusak yang terjadi di daerah Bengkulu. Gempa bumi ini jarak lebih kurang 100 km sebelah selatan Bengkulu

terjadi pada daerah *fore arc basin* dekat *Java trench* dimana terjadi penyusupan lempeng India Australia terhadap lempeng Eurasia. Lebih dari 90 orang meninggal, ratusan lainnya luka-luka dan ribuan rumah serta bangunan di Propinsi Bengkulu rusak.

Ditinjau dari aktivitas seismisitas, sebelum terjadi gempa bumi tanggal 4 Juni 2000, ada pola peningkatan aktivitas seismisitas (gambar 2). Pada grafik dapat dilihat adanya perubahan slope atau kemiringan grafik sekitar tahun 1995 yang menandakan adanya peningkatan aktivitas kegempaan. Peningkatan pelepasan energi sekitar lima tahun sebelum terjadi gempa bumi tanggal 4 Juni 2000 ini menunjukkan bahwa adanya pelepasan energi yang berkaitan dengan pecahnya *asperities* antara permuakaan dua patahan sebelum gempa bumi utama tanggal 4 Juni 2000.

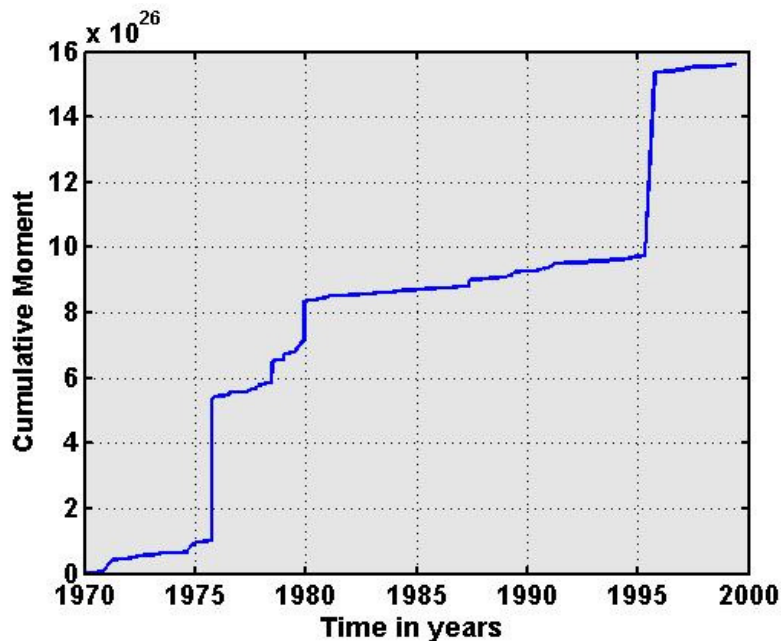
Tujuh tahun setelah terjadi gempa bumi 4 Juni 2000, tepat pada tanggal 12 September 2007, di daerah Bengkulu kembali terjadi gempa bumi besar dengan kekuatan 8,5 Mw. Gempa bumi ini terjadi pada pukul 18:10:26 WIB terletak pada koordinat 4,52 LS-101,37 BT dengan kedalaman 34 km. Menurut USGS, gempa bumi ini terjadi pada pertemuan antara lempeng Australia dan Sunda. Lokasi gempa bumi sekitar 130 km lepas pantai arah barat daya kota Bengkulu. Akibat bencana ini, total 25 orang meninggal dunia, 41 orang luka berat, dan puluhan lainnya mengalami luka ringan. Gempa ini juga merusak puluhan ribu rumah penduduk, bangunan/instansi pemerintah, rumah ibadah, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, jalan/jembatan serta irigasi dalam skala rusak total, berat, maupun ringan.

Sebelum terjadi gempa bumi 12 September 2007, didahului dengan peningkatan aktivitas kegempaan seperti diperlihatkan pada kurva *cumulative moment* (gambar 3). Pada grafik perubahan aktivitas kegempaan ditandai dengan perubahan kemiringan grafik dimulai sekitar tahun 2004. Hal ini mengindikasikan bahwa adanya peningkatan pelepasan energi dalam bentuk

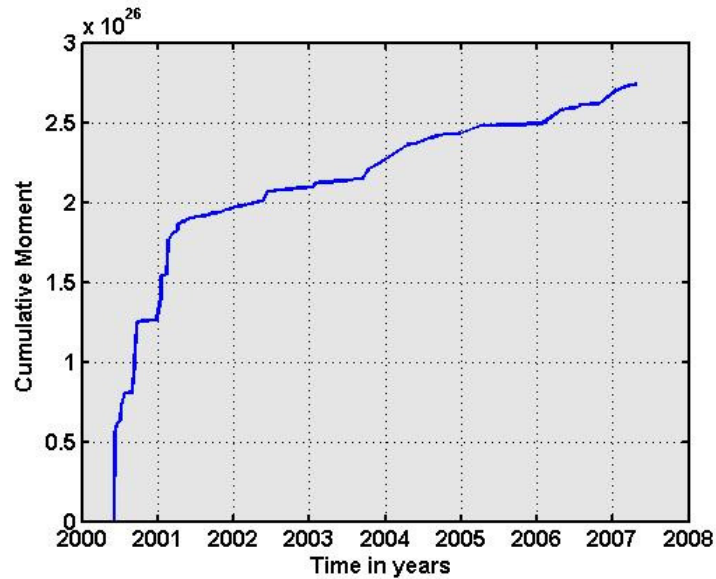
gempabumi-gempabumi kecil sebelum terjadi gempabumi utama.

Hasil penelitian ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hadi *et al.* (2010). Mereka menganalisa pola sebaran gempabumi tektonik yang terjadi di wilayah Bengkulu untuk periode tahun 2005 hingga 2009. Hasilnya menunjukkan dari tahun 2005 hingga 2007 aktivitas kegempaan cenderung meningkat, untuk gempabumi dengan kedalaman dangkal dan kekuatan $M > 3$ SR. Aktivitas kegempaan kembali menurun setelah terjadi gempabumi utama 12 September 2007. Ini mengindikasikan bahwa ada penurunan pelepasan energi gempabumi setelah tahun 2007.

Penurunan aktivitas kegempaan setelah tahun 2007 berkaitan dengan penyimpanan energi gempabumi (akumulasi stress). Hasil ini juga bersesuaian dengan kajian yang dilakukan oleh Rohadi *et al.* (2008). Mereka melakukan analisis *b-value* di sepanjang pantai barat Sumatera untuk priode Januari 1973 hingga Juni 2008. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Bengkulu dan sekitarnya tergolong wilayah yang memiliki *b-value* rendah. Ini menunjukkan bahwa setelah gempabumi 12 September 2007, ada penurunan aktivitas kegempaan (akumulasi stress). Hal ini dapat ditafsirkan bahwa setelah terjadi gempabumi utama 2007, daerah Bengkulu dan sekitarnya berpotensi terjadi gempabumi besar diwaktu yang akan datang.



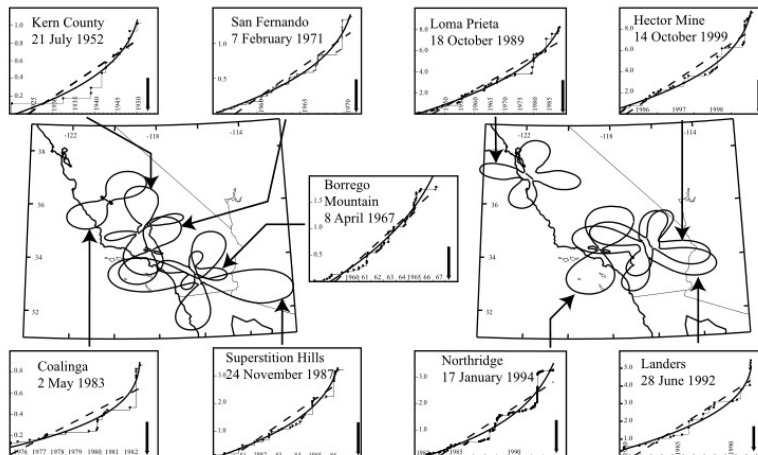
Gambar 2. Kurva *cumulative moment* sebelum gempabumi tanggal 4 Juni 2000.



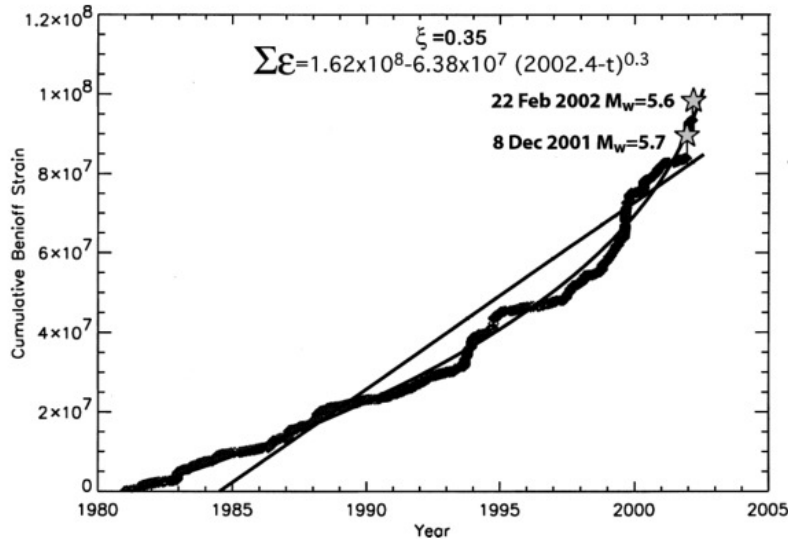
Gambar 3. Kurva *cumulative moment* sebelum gempabumi tanggal 12 September 2007.

Beberapa penelitian serupa yang pernah dilakukan para peneliti menunjukkan pola yang menarik sebelum terjadi gempabumi utama. Seperti yang dilakukan oleh Bowman and King (2001). Mereka meneliti gempabumi di selatan California periode 1950 hingga 1999. Dari hasil kajian mereka, mereka menemukan semua gempabumi utama $M > 6,5$ terjadi, selalu didahului oleh peningkatan aktivitas kegempaan (gambar 4).

Sammis *et al.* (2004) sukses meperlihatkan pola peningkatan kegempaan (*accelerating moment release*) sebelum terjadi gempabumi utama di daerah utara California. Sebelum terjadi gempabumi utama 8 Desember 2001 dan gempabumi 22 Februari 2002, didahului dengan peningkatan aktivitas kegempaan yang menandakan peningkatan aktivitas pelepasan energi (gambar 5).



Gambar 4. *Cumulative benioff strain* gempabumi wilayah selatan California periode tahun 1950 hingga 1999 untuk gempabumi utama $M > 6,5$ (Bowman and King, 2001).



Gambar 5. *Cumulatif benioff strain* sebelum gempabumi tanggal 8 desember 2001 dan 22 Februari 2002 di utara California (Sammis *et al.* 2004).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pola peningkatan aktivitas kegempaan (*accelerating moment release*) sebelum terjadi gempabumi utama ada pola peningkatan aktivitas kegempaan. Metode ini bisa dijadikan salah satu petunjuk (prekursor) gempabumi dimasa yang akan datang. Kajian awal ini sangat memungkinkan untuk dikembangkan baik secara metode pengolahan data maupun wilayah penitnian di tempat lain sehingga didapat perbandingan untuk memperkaya referensi dan memperkuat hasil penelitian prekursor gempabumi dengan metode *accelerating moment release*.

DAFTAR PUSTAKA

Bufe C.G. and D.J. Varnes. 1993. Predictive modelling of the seismic cycle of the greater San Francisco bay region, *J. Geophys. Res.*, 98, 9871-9883, 1993

Charles G. Sammis, Davis D. Bowman, and Geoffrey C. King. 2004. Anomalous Seismicity and Accelerating Moment Release Preceding the 2001 and 2002 Earthquake in Northern Baja California, Mexico. *Pure Appl Geophys*, 161, 2369-2378.

David D. Bowman and Geoffrey C.P. King. 2001. Accelerating Seismicity and Stress Accumulation Before Large Earthquakes. *Geophysical Research Letter*.

Habermann, R. E. 1983. Teleseismic detection in the Aleutian Island arc, *Jurnal Geophysic. Research*, 885, 5056-5064.

Hadi, Arif Ismaul, Suhendra, dan Efriyadi. 2010. Studi Analisis Gempa Bengkulu Berdasarkan Data Single-Stasion dan Multi-Stasion Serta Pola Sebarannya. *Berkala Fisika*, Vol. 13, No. 4, 105-112.

Laporan Akhir Integrasi Pengamatan Parameter Geofisika Dalam Upaya Usaha Prediktibilitas Gempabumi. Program Intensif Kementerian Negara Riset dan Teknologi Tahun 2010. Puslitbang-BMKG.2010.

Lindh A.G. 1990. The Seismic Cycle Pursued, *Nature* 348, 580-581.

Build Change. 2007. Observasi Gempa 12 dan 13 September 2007, Sumatera, Indonesia.

Rohadi, Supriyanto, Hendra Grandis, Mezak A Ratag. 2008. Studi Potensi Seismotektonik Sebagai Prekursor Tingkat Kegempaan Di Wilayah

- Sumatera. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol.9. No. 2, 65-77.
- Rundle, J.B. 1989. A Physical Model for Earthquake, III. *Jurnal Geophysical Research*, 94, 2839-2855.
- Sornette D, and C.G Sammis. 1995. Complex Critical Exponents from Renormalization Group Theory of Earthquakes : Implication for Earthquake Predictions. *Jurnal Phys*, I, 5, 607-619.
- Wiemer, and M. Wyss. 2002. Mapping spatial variability of the frequency- magnitude distribution of earthquakes, *Adv. Geophys Research*, 45, 259-302.
- Zona Rupture Gempa Bengkulu 4 Juni 2000. <http://www.dbripteck.ristek.go.id/cgi/penjaga.cgi?tampildetil&publikasi&1111879394&1086>. Diakses tanggal : 17 Desember 2013.
- 12 September 2007 : Gempabumi Bengkulu. <http://www.lazuardibirru.org/berita/hrinidlmsjrh/12-september-2007-gempa-bumi-bengkulu/#.UrBHhSe9Ru4>. Diakses tanggal : 17 Desember 2013.