

Siklus dan Model Perkiraan Kejadian Gempabumi di Daerah Bengkulu

Sabar Ardiansyah^{1,2,*}

¹Stasiun Geofisika Kepahiang-Bengkulu, Jl. Pembangunan No. 156 Pasar Ujung, Kepahiang, Bengkulu 39372

²Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No. 5,
Komplek Meteo DEPHUB, Pondok Betung, Bintaro, Tangerang 15221

Intisari

Sebelum terjadi gempabumi utama, biasanya akan didahului oleh suatu pola atau siklus kegempaan. Siklus ini meliputi periode normal, periode anomali yang ditandai dengan peningkatan aktivitas, periode *precursory gap* yang ditandai dengan penurunan aktivitas seismik, dan periode terjadinya gempabumi utama. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat siklus kegempaan serta model (persamaan) perkiraan terjadinya gempabumi di wilayah Bengkulu untuk kegunaan mengestimasi besarnya magnitudo gempabumi yang akan terjadi berdasarkan model yang dibuat. Data yang digunakan adalah katalog data kegempaan $M > 4,5$ di daerah Bengkulu pada rentang tahun 1971-2013 yang diambil melalui website USGS. Metode yang digunakan untuk perhitungan model perkiraan magnitudo gempabumi menggunakan metode *Predictive Regressions* dengan perhitungan regresi linier berbobot. Berdasarkan hasil analisis, model yang sudah dibuat menunjukkan bahwa diperkirakan saat ini daerah Bengkulu memiliki potensi gempabumi dengan kekuatan $M > 7,5$ dengan siklus kegempaan daerah Bengkulu memasuki periode *precursory gap* yang ditandai dengan penurunan aktivitas kegempaan.

ABSTRACT

Before a major earthquake occurs, it will usually be preceded by a pattern or cycle of seismicity . This cycle includes a period of normal , anomalous period marked by increased activity , precursory gap period is characterized by a decrease in seismic activity , and the period of occurrence of major earthquakes . The purpose of this study is to look at seismic cycle and the model (equation) estimates the occurrence of earthquakes in the region for the purposes of estimating the Bengkulu earthquake magnitude that will occur based on the model created . The data used is a catalog of seismic data for $M > 4.5$ in the Bengkulu area in the range of 1971 to 2013 were taken through the USGS catalog. The method used to estimate the magnitude of an earthquake model calculations using the predictive regressions with weighted linear regression calculation. Based on the analysis, a model that has been made indicates that the current estimated Bengkulu area have the potential earthquake with the strength of $M > 7.5$ seismicity cycle Bengkulu area entered a period of precursory gap is characterized by a decrease in seismic activity .

KATA KUNCI: Earthquake cycle, precursors, earthquake forecast models

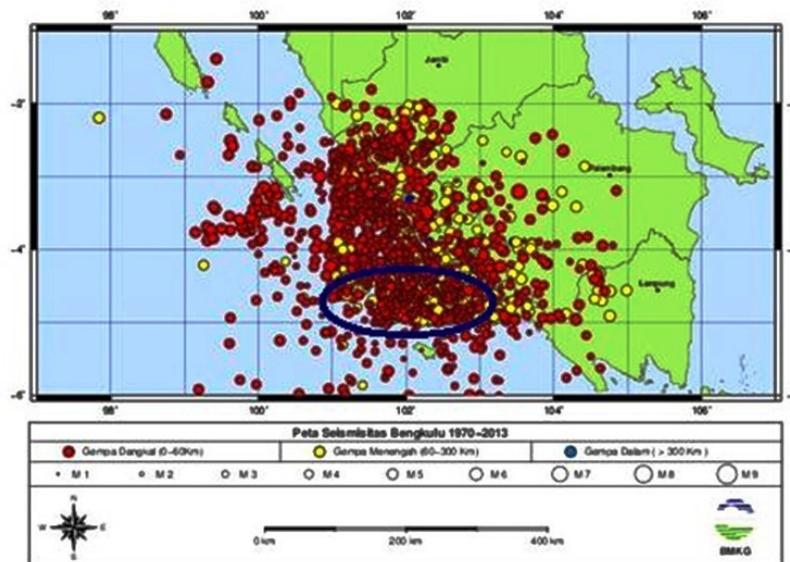
I. PENDAHULUAN

Beberapa prekursor gempabumi seperti deformasi kerak bumi, perubahan level muka air laut, regangan, tegangan kerak bumi, gempabumi pendahuluan, anomali aktivitas kegempaan, gempabumi *swarm*, *b value*, perubahan kecepatan gelombang seismik, perubahan air tanah, dan gas radon merupakan fenomena yang terjadi sebagai pendahuluan sebelum terjadinya gempabumi besar [1, 2]. Fenomena prekursor gempabumi bisa berbeda antara satu daerah dengan daerah lain [3], hal ini terjadi karena adanya perbedaan struktur geologi tiap daerah. Beberapa penelitian menunjukkan, fluktuasi perubahan aktivitas seismisitas berhubungan erat se-

bagai indikator prekursor gempabumi. Anomali seismisitas merupakan prekursor yang berhubungan dengan akumulasi stress atau akumulasi energi yang dapat digunakan sebagai mitigasi bencana [4]. Beberapa penelitian yang berhubungan dengan anomali seismisitas antara lain dilakukan oleh Ishida dan Kanamori [5], yang meneliti gempabumi San Fernando tahun 1971, serta penelitian yang dilakukan oleh Marza, [6] yang meneliti gempabumi tahun 1977 di Vrancea, Romania.

Prekursor kesenyapan seismisitas (*seismic quiescence*), menggambarkan penurunan aktivitas seismisitas, fenomena ini banyak dikaji oleh para ahli untuk memprediksi gempabumi [7, 8]. Mogi [9] melihat pola *seismic quiescence* sebagai aktivitas seismik yang mendahului terjadinya gempabumi besar. Berdasarkan observasi Mogi, sebelum terjadi gempabumi besar, telah terjadi aktivitas seismisitas di sekitar episenter gempabumi besar tersebut. Setelah terjadi *seismic quiescence*, biasanya akan diikuti dengan peningkatan gem-

*E-MAIL: sabar.ardiansyah@bmkgo.go.id



Gambar 1: Peta daerah studi (Bengkulu) serta seismisitasnya periode tahun 1971-2013. Lingkaran pada gambar merupakan fokus wilayah penelitian yang akan dibuatkan model perkiraan kejadian gempabumi.

pabumi sebagai gempabumi pendahuluan (*foreshock*). Aktivitas *foreshock* merepresentasikan pergerakan mikro lempeng bumi (*micro-cracking*) sebelum terjadi *rupture*.

Peningkatan aktivitas seismisitas sebagai gempabumi pendahuluan merupakan bagian dari siklus gempabumi. Aktivitas ini disebut sebagai anomali seismisitas (*swarm*). Aktivitas *swarm* biasanya berasosiasi dengan aktivitas vulkanik, namun bisa juga berasosiasi dengan aktivitas non-vulkanik [10]. Periode gempabumi *swarm* biasanya terjadi beberapa waktu di sekitar wilayah episenter gempabumi besar sebelum terjadi gempabumi besar tersebut [11]. Pada tahun 1982 Evison pernah mengusulkan hipotesis tentang gempabumi *swarm* sebagai prekursor gempabumi berdasarkan hasil penelitiannya di daerah Jepang. Evison juga mengusulkan formula hubungan antara gempabumi *swarm* dan gempabumi utama berdasarkan empat gempabumi signifikan di daerah California dan sembilan gempabumi signifikan di daerah New Zealand yang dia teliti [12, 13]. Formula dari Evison ini kemudian banyak dipakai oleh beberapa peneliti untuk meneliti gempabumi di daerah lain. Misalnya yang dilakukan oleh peneliti untuk gempabumi daerah Burma Azechman, gempabumi Pamir, gempabumi daerah timur laut India [14].

Evison membuat siklus seismik menjadi empat tahapan, tahap pertama adalah aktivitas normal (*normal/background*), tahap kedua adalah anomali seismisitas yang ditandai peningkatan aktivitas seismik, tahap ketiga adalah *seismic quiescence* yaitu tahap penurunan aktivitas seismisitas, dan tahap keempat terjadinya gempabumi utama (*main shock*) [11]. Pada suatu kajian di daerah tertentu periode normal (N), periode anomali (A), periode *precursory gap* (G), dan periode *main-shock* (M) berturut-turut ditandai dengan periode aktivitas seismik yang rendah, tinggi, rendah dan tinggi (termasuk aktivitas gempabumi susulan).

Di Indonesia kajian tentang siklus kegempaan serta model

perkiraan kejadian gempabumi masih jarang dikaji baik skala regional maupun skala lokal. Sehingga kajian ini menarik untuk dilakukan di kawasan-kawasan seismik aktif seperti pantai barat Sumatera pada umumnya dan wilayah Bengkulu Khususnya. Melalui tulisan ini, penulis akan menganalisis pola aktivitas kegempaan di wilayah Bengkulu sebelum terjadi gempabumi signifikan ($M > 7,0$) untuk periode tahun 1971 hingga 2013.

II. METODE PENELITIAN

A. Data Penelitian

Data yang dipakai untuk analisis dalam tulisan ini menggunakan data katalog gempabumi daerah Bengkulu dan sekitarnya periode tahun 1971-2013 yang diambil dari katalog USGS [15]. Daerah studi merupakan daerah Bengkulu yang meliputi koordinat 2,0-6 LS dan 98-104 BT. Sedangkan fokus pemodelan perkiraan gempabumi adalah zona *rupture* gempabumi tanggal 4 Juni 2000 dan 12 September 2007 pada area 3,0-6,0 LS dan 100-104 BT yang ditandai dengan lingkaran [16] dalam Gambar 1.

B. Teori Tentang Regresi Model Perkiraan Magnitudo Gempabumi (*Predictive Regressions*)

Evison [17], mengusulkan formula pemodelan perkiraan magnitudo gempabumi berdasarkan penelitian di daerah New Zealand yang dituliskan:

$$M_m = b + aM_p \tag{1}$$

$$\log T_p = d + cM_p \tag{2}$$

dengan M_m adalah besarnya perkiraan magnitudo gempabumi utama yang akan terjadi, M_p adalah nilai rata-rata dua magnitudo terbesar yang terjadi selama periode anomali peningkatan seismisitas (*swarm*), T_p adalah lama waktu terjadi periode anomali peningkatan seismisitas (*swarm*) sampai terjadi gempabumi utama (dalam hari), sedangkan a, b, c, dan d adalah konstanta. Jika ditulis dalam bentuk persamaan linier secara umum:

$$Y = m_1 + m_2X \quad (3)$$

Dengan menggunakan solusi regresi linier berbobot, parameter model (m_1 dan m_2) dapat diselesaikan dengan persamaan:

$$m = [G^T W_e G]^{-1} G^T W_e D \quad (4)$$

dengan G adalah matriks kernel, W_e adalah matriks pembobotan dengan elemen diagonal adalah varian data, dan D adalah matriks data.

Berdasar penelitian Evison [18] untuk gempabumi daerah New Zealand didapat konstanta a = 1,04, b = 1,52, c = 0,51, dan d = 0,64. Evison juga meneliti gempabumi daerah Jepang dan didapat konstanta a, b, c, dan d berturut-turut 0,72; 2,73; 0,37; dan 1,61.

Singh [19] juga meneliti pola atau karakteristik kegempaan sebelum terjadi gempabumi signifikan di daerah Barat Nepal, India. Berdasarkan hasil penelitian ini, karakteristik kegempaan di wilayah Nepal terdapat pola yang menarik yaitu selalu diikuti dengan siklus kegempaan yang terdiri dari siklus normal (N), anomali seismisitas atau peningkatan aktivitas seismisitas (*swarm*) (A), penurunan aktivitas seismik (*precursory gap*) (G), dan diikuti gempabumi utama. Dari kajian ini didapat hubungan antara gempabumi utama terhadap magnitudo rata-rata saat terjadi *swarm* serta hubungan antara besarnya magnitudo utama (M_m) untuk daerah Nepal yang dirumuskan sebagai berikut:

$$M_m = 1,05M_p + 0,69 \quad (5)$$

$$\log T_p = 0,59M_p + 0,08 \quad (6)$$

$$M_m = 1,92\log T_p + 0,01 \quad (7)$$

Formula ini memberikan prediksi besaran magnitudo gempabumi utama yang akan terjadi jika durasi T_p dan magnitudo rata-rata M_p selama periode *swarm* diketahui. Formula ini memberikan hasil yang cukup baik jika selama masa periode anomali *swarm* tidak ada gempabumi yang terjadi dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan magnitudo M_p . Berdasarkan penelitian Singh [20] rangkaian gempabumi *swarm* terjadi pada area yang akan menjadi zona *rupture* gempabumi utama yang akan terjadi.

Setelah terjadi rangkaian gempabumi *swarm* atau peningkatan aktivitas seismisitas, periode selanjutnya diikuti dengan periode penurunan aktivitas (*seismic quiescence*) yang merupakan periode pengumpulan energi atau akumulasi stress sampai terjadi gempabumi utama. Lamanya waktu (dalam hari) terjadinya aktivitas *swarm* dijadikan sebagai parameter untuk mengestimasi besarnya gempabumi utama yang akan terjadi berdasarkan persamaan hubungan antara M_m dan T_p atau hubungan antara M_m dan M_p .

TABEL I: Karakteristik kegempaan daerah Bengkulu ($M > 4,5$) sebelum terjadi gempabumi tanggal 1 Oktober 1975, $M = 7,0$ [15].

Seismic episodes	Duration	Total Days	Level of Events	Activity
1. Normal/back-ground (N)	1 Januari 1971-31 Desember 1971	365	9	Low
2. Anomalous/swarm (A)	1 Januari 1972-31 Desember 1972	365	34	High
3. Precursory gap (G)	1 Januari 1973-30 September 1974	635	20	Low
4. Main-shock sequence (M)	1 Oktober 1975			

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengolahan data katalog gempabumi daerah Bengkulu tahun 1971 hingga 2013, terdapat pola yang menarik sebelum terjadi gempabumi utama ($M > 7,0$). Pola atau siklus yang terjadi adalah dimulai dari aktivitas normal, kemudian diikuti dengan anomali seismisitas dengan indikasi peningkatan seismisitas (*swarm*), periode selanjutnya adalah periode penurunan aktivitas seismisitas, dan periode selanjutnya adalah periode terjadinya gempabumi utama. Pola ini ditampilkan pada Gambar 2.

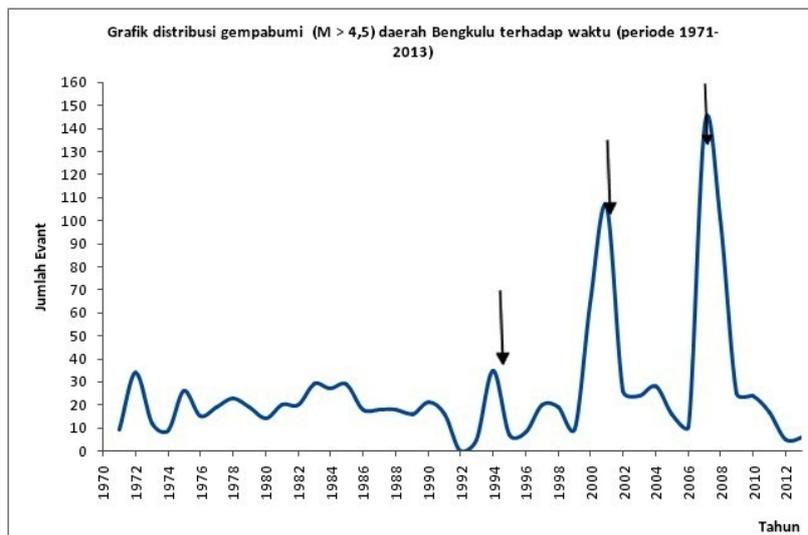
Pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa setiap sebelum terjadi gempabumi utama tahun 1975, 1994, 2000, dan 2007 (yang ditandai panah) selalu didahului oleh siklus penurunan aktivitas kegempaan. Lamanya priode tiap-tiap siklus cukup bervariasi yang akan dibahas pada pembahasan berikut.

Karakteristik Kegempaan Sebelum Gempabumi 1 Oktober 1975 ($M = 7,0$)

Gempabumi 1 Oktober 1975 terletak pada koordinat 4,88 LS 102,19 BT dengan kedalaman 33 km. Sebelum terjadi gempabumi utama tanggal 1 Oktober 1975 dengan kekuatan $M = 7,0$ ini, siklus kegempaan dimulai dari periode normal selama periode 1 Januari 1971 hingga 31 Desember 1971 (365 hari) gempabumi dengan kekuatan $M > 4,5$ hanya terjadi 9 event. Siklus selanjutnya diikuti dengan periode peningkatan aktivitas seismisitas (*swarm*) selama 1 Januari 1972 hingga 31 Januari 1972 (365 hari) terjadi gempabumi dengan kekuatan $M > 4,5$ sebanyak 34 event. Setelah periode *swarm*, siklus selanjutnya adalah seismic quiescence yang ditandai dengan penurunan aktivitas kegempaan. Periode ini berlangsung selama 1 Januari 1973 hingga 30 September 1975 (635 hari) jumlah event $M > 4,5$ yang terjadi pada periode ini hanya 20 event (lihat Tabel I). Selama periode *swarm*, dua gempabumi terbesar yang terjadi adalah $M = 6,0$ dan $M = 5,4$ sehingga magnitudo rata-rata (M_p) adalah $M = 5,7$.

Karakteristik Kegempaan Sebelum Gempabumi 15 Februari 1994 ($M = 7,0$)

Gempabumi 15 Februari 1994 berkekuatan 7,0 terletak pada koordinat 4,97 LS 104,30 BT dengan kedalaman 23 km.



Gambar 2: Grafik distribusi gempabumi ($M > 4,5$) daerah Bengkulu periode tahun 1971-2013.

TABEL II: Karakteristik kegempaan daerah Bengkulu ($M > 4,5$) sebelum terjadi gempabumi tanggal 15 Februari 1994, $M = 7,0$ [15].

Seismic episodes	Duration	Total Days	Level of Events Activity
1. Normal/back-ground (N)	1 Januari 1976-31 Desember 1981	2190	110 Low
2. Anomalous/swarm (A)	1 Januari 1982-31 Desember 1985	1460	105 High
3. Precursory gap (G)	1 Januari 1986-14 Pebruari 1994	2920	112 Low
4. Main-shock sequence (M)	15 Pebruari 1994-31 Desember 1994		

Sama seperti siklus gempabumi tanggal 1 Oktober 1975, sebelum terjadi gempabumi 15 Februari 1994 juga mengikuti pola yang sama. Dimulai dari periode normal, yaitu selama 1 Januari 1976 - 31 Desember 1981 (2190 hari) jumlah event ($M > 4,5$) yang terjadi 110 event, kemudian diikuti periode *swarm* atau peningkatan aktivitas seismisitas dimana pada periode 1 Januari 1982 - 31 Januari 1985 (1460 hari) jumlah event yang terjadi mencapai 105 event, selama periode ini dua magnitudo terbesar yang terjadi dengan kekuatan 6,6 dan 6,5 dengan $M_p = 6,55$. Periode *seismic quiescence* terjadi selama 1 Januari 1986 - 14 Februari 1994 (2920 hari) jumlah event yang terjadi sebanyak 112. Karakteristik kegempaan sebelum gempabumi 15 Februari 1994 dapat dilihat pada Tabel II.

Karakteristik Kegempaan Sebelum Gempabumi 4 Juni 2000 ($M = 7,9$)

Gempabumi tanggal 4 Juni 2000 merupakan salah satu gempabumi yang menyebabkan banyak korban jika kerusakan di daerah Bengkulu. Gempabumi ini terletak pada koordinat 4,72 LS 102,04 BT pada kedalaman 33 km. Lima tahun sebelum terjadi gempabumi utama, terindikasi adanya siklus yang teratur sebagai prekursor gempabumi ini. Dimulai dari

TABEL III: Karakteristik kegempaan daerah Bengkulu ($M > 4,5$) sebelum terjadi gempabumi tanggal 4 Juni 2000, $M = 7,9$ [15].

Seismic episodes	Duration	Total Days	Level of Events Activity
1. Normal/back-ground (N)	1 Januari 1995-31 Desember 1996	730	15 Low
2. Anomalous/swarm (A)	1 Januari 1997-31 Desember 1997	365	39 High
3. Precursory gap (G)	1 Januari 1998-3 Juni 2000	515	13 Low
4. Main-shock sequence (M)	4 Juni 2000-31 Desember 2000		

periode normal selama dua tahun, 1 Januari 1995 - 31 Desember 1996 (730 hari) gempabumi dengan kekuatan $M > 4,5$ hanya 15 event. Setelah periode normal ini, kemudian diikuti dengan periode anomali seismisitas atau peningkatan aktivitas seismik (*swarm*) selama satu tahun mulai 1 Januari 1997 - 31 Desember 1997 (365 hari) jumlah event $M > 4,5$ yang terjadi sebanyak 39 event dengan $M_p = 6,5$. Setelah periode *swarm*, kemudian diikuti periode penurunan aktivitas seismik (*precursory gap*) selama 1 Januari 1998 - 3 Juni 2000 (515 hari) dengan jumlah event $M > 4,5$ hanya 13 event. Secara lengkap karekteristik kegempaan sebelum terjadi gempabumi tanggal 4 Juni 2000 ditabelkan pada Tabel III.

Karakteristik Kegempaan Sebelum Gempabumi 12 September 2007 ($M = 8,5$)

Gempabumi tanggal 12 September 2007 dengan kekuatan 8,5 M_w merupakan gempabumi besar yang juga mengakibatkan kerusakan di daerah Bengkulu. Gempabumi ini terletak pada koordinat 4,52 LS 101,37 BT pada kedalaman 34 km. Dilihat dari siklus seismik, pola kegempaan sebelum terjadi gempabumi utama berbeda dengan tiga gempabumi signifikan sebelumnya. Tabel IV menyajikan karakteristik

TABEL IV: Karakteristik kegempaan daerah Bengkulu ($M > 4,5$) sebelum terjadi gempabumi tanggal 12 September 2007, $M = 8,5$ [15].

Seismic episodes	Duration	Total Days	Level of Events	Activity
1. Anomalous/ swarm (A)	1 Januari 2001- 31 Desember 2004	1460	184	High
2. Precursory gap (G)	1 Januari 2005- 11 September 2007	981	36	Low
3. Main-shock sequence (M)	12 September 2007- 31 Desember 2008			

kegempaan sebelum terjadi gempabumi utama 12 September 2007. Pada tabel dapat dilihat, sebelum gempabumi utama hanya ada dua siklus yaitu siklus anomali peningkatan aktivitas seismik (*swarm*) dan siklus penurunan aktivitas seismik (*precursory gap*). Periode anomali *swarm* (A) berlangsung selama 1 Januari 2001 - 31 Desember 2004 (1460) dengan total event $M > 4,5$ yang terjadi sebanyak 184 event, dan $M_p = 7,1$. Periode penurunan aktivitas seismisitas berlangsung selama 1 Januari 2005 - 11 September 2007 (981 hari) dengan total event $M > 4,5$ yang terjadi hanya 36 event. Setelah periode seismic quiescence, tepat pada tanggal 12 September 2007 terjadi gempabumi utama (M_m) dengan kekuatan 8,5 M_w .

Regresi Formula Perkiraan Magnitudo Gempabumi di Wilayah Bengkulu (*Predictive Regressions*)

Berdasarkan parameter masing-masing karakteristik kegempaan sebelum terjadi gempabumi utama, maka bisa dihitung formula yang menyatakan hubungan antara magnitudo rata-rata saat terjadi periode *swarm* (M_p) terhadap lamanya periode *swarm* (T_p). Begitu juga dengan hubungan antara magnitudo gempabumi utama yang akan datang (M_m) terhadap magnitudo rata-rata saat periode *swarm* (M_p), serta hubungan antara T_p dan M_m dapat dihitung dengan metode *lest square*. Pada Gambar 3 memperlihatkan hasil perhitungan yang telah dilakukan.

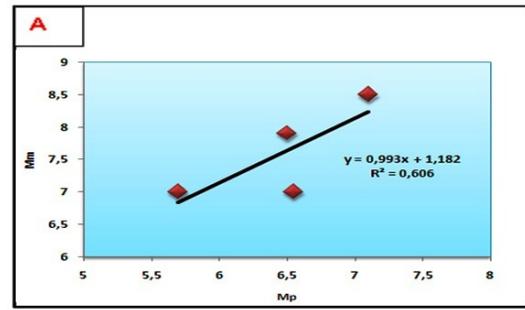
Dari Gambar 3 ditunjukkan hasil perhitungan model kegempaan di wilayah Bengkulu yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$M_m = 0,993M_p + 1,182; (R^2 = 0,606) \quad (8)$$

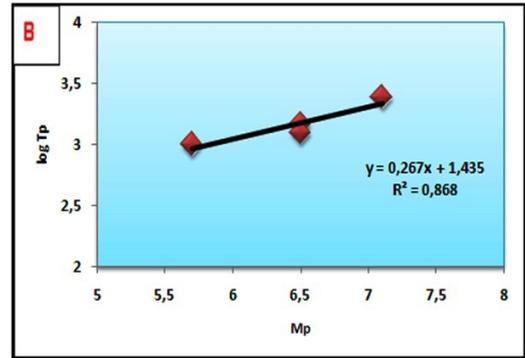
$$\log T_p = 0,267M_p + 1,435; (R^2 = 0,868) \quad (9)$$

$$\log T_p = 0,177M_m + 1,822; (R^2 = 0,555) \quad (10)$$

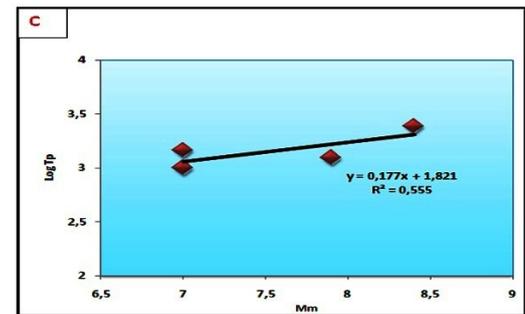
Pers. (8) dan (10) memperlihatkan bahwa estimasi besarnya magnitudo gempabumi utama (M_m) diwaktu yang akan datang dapat dicari jika M_p dan T_p diketahui. Artinya dugaan besarnya magnitudo gempabumi utama bisa dihitung jika siklus kegempaan pada periode *swarm* telah dilewati sebelum terjadinya gempabumi utama. Menurut Singh [19] kondisi ini hanya berlaku jika pada masa siklus senyap atau penurunan aktivitas kegempaan tidak ada gempabumi dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan magnitudo M_p . Dengan adanya magnitudo yang lebih besar atau sama dengan M_p pada saat periode *precursory gap* berarti akan mengurangi



(a) Kurva hubungan antara M_m dan M_p



(b) Kurva hubungan antara M_p dan T_p



(c) Kurva hubungan antara M_m dan $\log T_p$

Gambar 3: Kurva hubungan antara M_m (magnitudo gempabumi utama), M_p (nilai rata-rata dua magnitudo terbesar yang terjadi selama masa *swarm*), dan $\log T_p$ (lama waktu terjadinya periode *swarm*)

akumulasi stress pada patahan. Kondisi ini akan memperpanjang siklus *precursory gap* yang akan mengakibatkan peluang terjadinya gempabumi utama (M_m) dengan magnitudo yang lebih besar [19]. Jika kondisi ini terjadi maka diperlukan pertimbangan dan faktor lain untuk mengestimasi besarnya magnitudo gempabumi utama (M_m).

Menurut Rikitake [1, 21] besarnya magnitudo gempabumi utama berbanding lurus dengan logaritma lamanya waktu periode terjadinya prekursor (sejak terjadi periode *swarm* hingga terjadi gempabumi utama). Pers.(10) dan Gambar 3(c) memperlihatkan hubungan linier antara M_m terhadap T_p . Pola anomali seismisitas dan relasi antara M_m dan T_p ini bisa dijadikan salah satu metode untuk dijadikan sebagai prekursor gempabumi jangka panjang.

TABEL V: Karakteristik kegempaan daerah Bengkulu ($M > 4,5$) saat ini. Periode 13 September 2007-31 Desember 2013 [15].

Seismic episodes	Duration	Total Days	Level of Events	Activity
1. Normal/back-ground (N)	13 September 2007-31 Desember 2008			
2. Anomalous/swarm (A)	1 Januari 2009-31 Desember 2011	730	184	High
3. Precursory gap (G)	1 Januari 2012 to continuing	730	11	Low
4. Main-shock sequence (M)	Not yet Occurred			

Karakteristik Kegempaan Daerah Bengkulu Saat Ini

Periode terjadinya gempabumi utama 12 September 2007 beserta gempabumi susulannya berlangsung cukup lama hingga mencapai akhir tahun 2008. Hal ini dapat dilihat dari aktivitas kegempaan $M > 4,5$ masih tergolong tinggi dengan total event yang terjadi mencapai 133 event pada tahun 2007, dan 100 event pada tahun 2008. Periode *swarm* dimulai sejak 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2011. Dalam waktu dua tahun ini (730 hari) jumlah event $M > 4,5$ tercatat sebanyak 184 event dengan $M_p = 6,4$. Periode penurunan aktivitas seismik terindikasi sejak 1 Januari 2012 hingga sekarang. Dalam rentang waktu dua tahun ini (730 hari) jumlah event $M > 4,5$ yang tercatat hanya 11 event. Periode ini dapat diinterpretasikan sebagai periode pengumpulan energi atau akumulasi stress seperti ditampilkan pada Tabel V.

Dari formula yang sudah dihitung di atas, maka wilayah Bengkulu saat ini diperkirakan memiliki potensi gempabumi

dengan kekuatan $M > 7,5$. Beberapa hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa setelah terjadi gempabumi 12 September 2007, saat ini di kawasan Bengkulu dalam tahap akumulasi energi. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Rohadi [22] yang melakukan perhitungan b-value baik secara temporal maupun spasial di seluruh kawasan pantai barat Sumatera periode tahun 1973 - 2008. Hasilnya menunjukkan bahwa di wilayah Bengkulu khususnya di wilayah rupture zone gempabumi 12 September 2007 memiliki nilai b-value yang rendah. Menurut Rohadi [22] wilayah dengan b-value rendah ini berpeluang terjadinya gempabumi besar di waktu yang akan datang.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan analisis katalog data gempabumi periode 1971-2013 di daerah Bengkulu, telah terindikasi adanya pola atau siklus yang teratur sebelum terjadinya gempabumi utama yang signifikan. Siklus ini mengikuti pola meliputi periode normal (N), periode anomali peningkatan seismisitas (A), periode penurunan aktivitas seismik atau *precursory gap* (G), dan periode terjadinya gempabumi utama (M). Berdasarkan studi ini, karakteristik kegempaan di daerah Bengkulu bisa dijadikan salah satu metode untuk prekursor gempabumi jangka panjang dalam upaya mitigasi bencana. Siklus kegempaan di daerah Bengkulu saat ini dalam periode *precursory gap* (G) atau periode penurunan aktivitas seismik. Berdasarkan perhitungan menggunakan formula hubungan antara M_p , M_m , dan T_p yang telah didapat, maka saat ini daerah Bengkulu diperkirakan menyimpan potensi gempabumi dengan kekuatan $M > 7,5$.

-
- [1] T. Rikitake, *Earthquake Forecasting and Warning* (Center for Academic Publications Japan 3, 402, 1982).
- [2] T. Rikitake, *Earthquake Prediction* (Elsevier Amsterdam, pp. 257, 1976).
- [3] T. Lay, and T.C. Wallace, *Modern Global Seismology* (International Geophysics Series, Vol 58, Academic Press, San Diego, 1995).
- [4] H. Sekiya, *Journal Physical Earth*, **25**, 85-93 (1977).
- [5] M. Ishida, and H. Kanamori, *Geophys. Res. Lett.*, **4**, 345-346 (1977).
- [6] V.I. Marza, *Tectonophysics*, **53**, 217-222 (1979).
- [7] R.E. Habermann, *Pure and Appl. Geophysics*, **126**, 279-318 (1988).
- [8] R.E. Habermann, and M. Wyss, *Journal Geophysics Research*, **92**, 9446-9450 (1987).
- [9] K. Mogi, *Earthquake Prediction* (Academic Press, San Diego, pp. 355, 1985).
- [10] K.E. Bullen, and B.A. Bolt, *An Introduction to the Theory of Seismology* (Cambridge University Press, pp.499, 1985).
- [11] F.F. Evison, *Nature*, **266**, 710-712 (1977).
- [12] F.F. Evison, *Physical Earth Planet Inter.*, **15**, 19-23 (1977).
- [13] F.F. Evison, and D.A. Rhoades, *Earth Planet Space*, **51**, 1267-1277 (1999).
- [14] H.K. Gupta, and H.N. Singh, *Journal Geology Soc. India*, **28**, 367-406 (1986).
- [15] Source Parameter Search, 2013. (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/sopar/>), diakses: 29 Desember 2013.
- [16] Zona Rupture Gempa Bengkulu 4 Juni 2000. ([http://www.dbripteck.ristek.go.id/cgi/penjaga.cgi?tampildetil & publikasi & 1111879394&1086](http://www.dbripteck.ristek.go.id/cgi/penjaga.cgi?tampildetil&publikasi&1111879394&1086)), diakses tanggal: 17 Desember 2013.
- [17] F.F. Evison, *Journal Physical Earth*, **30**, 155-170 (1982).
- [18] F.F. Evison, and D.A. Rhodes, *Journal Geology. Geophysic*, **40**, 537-547 (1977).
- [19] H.N. Singh, *et al.*, *Pure and Applied Geophysics*, **167**, 667-684 (2010).
- [20] V.P. Singh, and H.N. Singh, *Earthq Predict Res.*, **2**, 245-258 (1984).
- [21] T. Rikitake, *Tectonophysics*, **54**, 293-309 (1978).
- [22] Rohadi, Supriyanto, H. Grandis, dan M.A. Ratag, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, **9**(2), 65-77 (2008).