



Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama dan Susulan (Studi Kasus : Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa)

Andrean V H Simanjuntak^{1*)}, Olymphina²⁾

¹⁾ Stasiun Geofisika Mata Ie Banda Aceh, BMKG Provinsi Aceh

²⁾ Pusat Database BMKG

E-mail: andreansimanjuntak@gmail.com

ABSTRACT-Indonesia is located on the third meeting of the active tectonic world plates which are Eurasian Indian - Australia and the Pacific Plate. This condition makes Indonesia as a tectonically active area with seismicity level or pattern of high seismicity. Occurrence of devastating earthquake followed by aftershocks of earthquakes, often increase the level of social unrest. The purpose of this study is calculate the energy of devastating earthquakes and followed by aftershocks, so it can be compared to the amount of energy released by both of them. By obtaining these comparisons, the study is based on scientific studies can be used as a reference in providing information on the possible impact of an occurrence of the earthquake and its aftershocks. Empirical formula of Guttenberg- Richter was used to calculate the energy value, historical data with aftershock earthquakes was obtained from ISC (International Seismological Center) for five major earthquakes are Bengkulu, Pangandaran, Simeulue, West Sumatra, and Tasikmalaya earthquake. Earthquake aftershocks taken within three months after a major earthquake. From analysis and energy calculations of earthquake aftershocks of a major earthquake with a magnitude of five large, energy-earthquake aftershocks ranging from 0.1% to 33%, with a random pattern. By comparing the energy aftershocks of earthquakes, the results are generally 10%, it is estimated that the earthquake with strike-slip mechanism having earthquake aftershocks with a total energy is less than 10%. While earthquakes with earthquake aftershocks have thrust mechanism with a total energy of more than 10%.

Keywords : Aftershock, Earthquake Energy, Guttenberg-Richter, mainshock

I. PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian Selatan, Lempeng Eurasia di bagian Utara, dan Lempeng Pasifik di bagian Timur (Ibrahim *et al.* 2004). Kondisi tatanan tektonik yang begitu kompleks menyebabkan wilayah Indonesia menjadi kawasan seismik aktif dengan frekuensi kegempaan yang sangat tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut, perlu adanya pemahaman mengenai karakteristik gempa bumi di suatu daerah, khususnya untuk daerah kegempaan aktif. Pemahaman mengenai karakteristik gempa bumi di suatu daerah dapat dipelajari melalui analisis sebaran episenter gempa bumi di daerah tersebut.

1.1. Teori Gempa bumi

Gempa bumi timbul akibat pelepasan stress yang tiba-tiba dari dalam permukaan bumi, gerakannya bersifat *transient*, berasal dari daerah terbatas, kemudian menyebar ke segala arah, yang dapat diikuti oleh bahaya ikutan gempa bumi, diantaranya tsunami, kebakaran, peningkatan aktifitas gempa bumi, serta *ground faulting* dan *ground shaking*. Gempa bumi merupakan salah satu akibat dari pergerakan lempeng yang polanya saling bertabrakan (*konvergen*). Adapun syarat terjadinya gempa bumi diantaranya adalah adanya penimbunan tegangan secara perlahan pada batas pertemuan lempeng, dan batuan harus cukup kuat untuk menimbun energi. Apabila persyaratan tersebut

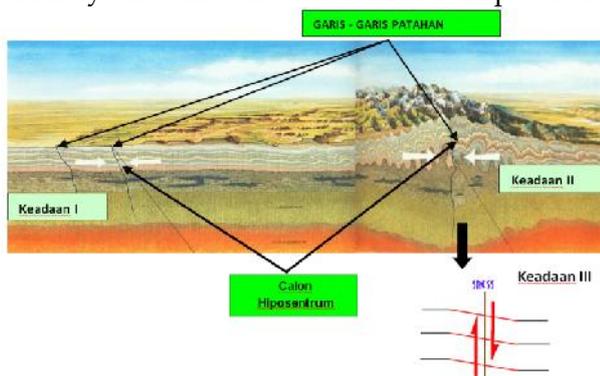
terpenuhi, maka akan terjadi akumulasi energi sampai batas elastisitas batuan tercapai.

Setelah batas elastisitas batuan terlewat, akan terjadi hentakan energi secara tiba-tiba, yang disebut gempa bumi Tektonik. Gelombang yang dihasilkan akan memancar ke segala arah, tidak hanya melewati permukaan bumi melainkan juga melalui bagian dalam bumi. Bahkan seringkali, gelombang tersebut melewati inti bumi tempat dimana pergeseran atau patahan lapisan batuan tersebut terjadi disebut hiposenter. Sedangkan titik permukaan bumi yang tegak lurus dengan hiposenter disebut episenter. (Wibowo, 2008)

1.2. Mekanisme Terjadinya Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan serangkaian getaran atau kejutan (*shock wave*) yang berasal dari suatu tempat dalam mantel atau kerak bumi. Bullen (1965) mengemukakan teori yang menjelaskan bagaimana fenomena terjadinya gempa bumi.

Menurut teori tersebut, gempa bumi terjadi pada daerah yang mengalami deformasi. Energi yang tersimpan selama proses deformasi berbentuk elastis strain dan akan terakumulasi sampai daya dukung batuan mencapai batas maksimum hingga akhirnya menimbulkan rekahan atau patahan.



Gambar 1. Tampilan mekanisme gempa bumi akibat gempa bumi tektonik. Garis tebal vertikal menunjukkan patahan atau sesar pada bagian bumi yang padat. (Nur 2008)

Pada keadaan I menunjukkan suatu lapisan batuan yang belum mengalami perubahan bentuk geologi. Pada tahap ini

akumulasi stress akibat dinamika energi belum merubah bentuk geologi dari lapisan batuan. Keadaan II menunjukkan suatu lapisan batuan dengan akumulasi stress dimana telah terjadi perubahan bentuk geologi.

Untuk daerah A mendapat stress ke atas, sedang daerah B mendapat stress ke bawah. Proses ini berlangsung hingga stress yang terakumulasi pada lapisan ini cukup besar yang mengakibatkan gesekan antara daerah A dan daerah B. Bila lapisan batuan tidak mampu menahan stress, maka akan terjadi pergerakan atau perpindahan permukaan tanah akibat energi yang dilepaskan secara tiba – tiba oleh batuan yang ada di bawah permukaan bumi.

Selanjutnya, pada keadaan III menunjukkan lapisan batuan yang patah akibat pergerakan lapisan batuan. Manifestasi dari getaran lapisan batuan yang patah dengan energi yang menjalar melalui badan dan permukaan bumi berupa gelombang seismik. Penyebaran energi gempa bumi dapat besar atau kecil tergantung dari karakteristik batuan yang ada dan besarnya stress yang dikandung oleh suatu batuan pada suatu daerah.

Pada suatu batuan yang rapuh (batuan yang heterogen), stress yang dikandung tidak begitu besar karena langsung dilepaskan melalui gempa-gempa kecil (gempa mikro). Sedangkan untuk batuan yang lebih kuat (batuan yang homogen), gempa kecil jarang terjadi karena stress yang dikandung tidak langsung dilepaskan melainkan disimpan hingga pada suatu saat batuan tersebut tidak mampu lagi menahan stress, maka terjadi pelepasan energi yang besar secara tiba – tiba ke segala arah.

Peristiwa inilah yang dikenal dengan gempa bumi. Proses tersebut terus berlangsung sehingga seluruh proses akan terulang, dan gempa bumi dapat terjadi dalam periode waktu tertentu. Proses ini diterangkan oleh Reid yang dikenal dengan nama "*Elastic Rebound Theory*".

Suatu patahan merupakan calon tempat terjadinya gempa bumi, karena daya tahan terhadap stress di tempat tersebut relatif

lemah dan merupakan tempat terjadinya konsentrasi lokal untuk stress, dimana patahan tersebut di masa yang lalu merupakan salah satu tempat terjadinya gempa bumi sehingga berpotensi tinggi untuk terjadinya kembali gempa bumi di daerah itu.

Gempa bumi akan terjadi apabila stress shear yang menyebabkan gaya – gaya tersebut melebihi elastisitas suatu batuan. Pada saat itu, *strain* energi di daerah patahan yang disimpan dalam batuan berubah menjadi energi gelombang elastik dan energi deformasi (Benioff, 1951). Gerakan perlahan di daerah tersebut disebabkan oleh adanya gaya arus konveksi thermal yang terjadi di dalam bumi. Namun akhir – akhir ini, para peneliti berpendapat bahwa gerak utama dari lempeng – lempeng itu karena pengaruh dari perbedaan densitas atau kepadatan dan ketebalan kerak bumi yang menonjol ke arah lateral akibat dari pendinginan bumi.

Pada umumnya gempa bumi merusak diikuti oleh aktifitas gempa susulan (*aftershock*) yang membentuk pola tertentu. Setiap gempa tektonik dangkal (<100 km) selalu diikuti dislokasi atau patahan yang mengganggu di sekelilingnya, sehingga muncul gempa susulan atau gempa baru di sepanjang patahan tersebut.

Gempa susulan yang dirasakan dapat dinyatakan secara umum patahan lokal pada lapisan permukaan bumi. Bila dimulai patahan besar pada kedalaman tertentu dari permukaan, bagian terbanyak dari pengumpulan tegangan energi yang dilepaskan terdapat pada gempa utama (Mogi, 1963). Hal ini serentak dengan terjadinya pada daerah patahan di antara fokus gempa bumi dengan permukaan.

Banyak sekali tegangan sisa yang umumnya tertinggal di dalam dan di sekitar daerah patahan tersebut serta adanya tegangan konsentrasi yang tinggi di sekitarnya. Hal yang akan terjadi adanya beberapa retakan dan patahan lokal, yang mana tegangan rata – rata di daerah ini menurun saat terjadi gempa utama dengan

berkurangnya energi terhadap waktu dan tegangan konsentrasi setempat pada suatu titik tidak tetap.

Akibat tegangan sisa yang tersimpan maka pada saat tertentu masih ada energi yang dilepaskan berupa gempa susulan dengan kekuatan tertentu yang merupakan proses stabilisasi medan stress ke keseimbangan yang baru setelah pelepasan energi (*stress drop*) yang besar pada gempa utama. Lokasi penyebaran sumber gempa susulan berkaitan langsung dengan luas bidang sesar gempa utama yang bersangkutan.

Tegangan elastis yang keluar merupakan bagian yang terpenting dalam pemakaian tegangan sisa (Benioff, 1951). Pada kondisi tertentu, mekanisme gempa susulan sedikit berbeda dengan mekanisme dari pendapat Benioff pada beberapa ketentuan. Dalam model Benioff, gempa susulan disebabkan oleh pergerakan patahan yang sama yang ditimbulkan oleh gempa utama.

Kenyataan yang terjadi di lapangan adalah sulit untuk mengenali dan membedakan antara gempa pendahuluan dengan gempa – gempa kecil (*micro earthquake*) atau aktifitas kegempaan harian. Seperti halnya peristiwa gempa bumi belum ada suatu negara maju di bidang seismologi yang berhasil dengan baik membuat ramalan tentang kapan (waktu) dan dimana gempa bumi serta gempa susulannya akan terjadi.

1.3. Magnitudo Gempa Bumi

Magnitudo merupakan ukuran kekuatan gempa bumi yang dapat menggambarkan besarnya energi yang dilepaskan pada saat gempa bumi terjadi. Apabila sebuah gempa bumi kekuatannya besar, maka energi yang dilepaskan juga besar sehingga daya perusakannya juga besar. Bentuk energi yang dilepaskan meliputi energi deformasi dan energi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadi gempa bumi, seperti tanah naik, tanah turun, pergeseran batuan, dan lain – lain.

Sedangkan energi gelombang (*seismic wave*) akan menggetarkan medium elastis di sekitarnya dan akan menjalar ke segala arah. Dalam proses perhitungan energi gempa bumi, magnitudo yang biasa digunakan adalah magnitudo permukaan (M_s). Hal ini dikarenakan percepatan tanah yang dihasilkan dari rekaman *accelerograph*, biasanya diakibatkan karena adanya dominasi dari gelombang permukaan. Hubungan antara magnitudo permukaan (M_s) dan magnitudo badan (m_b) telah dibuat oleh Gutenberg, sehingga perhitungan tetap dapat dilakukan. Hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai (Ibrahim *et al.* 2004):

$$m_b = 2,5 + 0,63M_s \text{ atau } M_s = 1,59m_b - 3,97 \quad (1)$$

1.4. Energi Gempa Bumi

Energi seismik yang dipancarkan adalah salah satu parameter yang paling mendasar untuk menjelaskan suatu kejadian gempa bumi. Dalam praktek, energi secara historis hampir selalu diperkirakan dengan rumus empiris. Dalam perumusan Gutenberg-Richter, energi dibatasi sekali besarnya yang dikenal melalui $\log E_s = a + bM$ dimana a dan b adalah konstanta. Untuk magnitudo gelombang permukaan (M_s), rumus dari Gutenberg-Richter (Wesnouwsky 1994) yaitu:

$$\log E_s = 4,8 + 1,5 M_s \quad (2)$$

dengan satuan E_s adalah Joule (J). Dalam penggunaan normal dari persamaan 1 energi ini berasal setelah M_s dihitung. Namun, sekarang diakui bahwa untuk gempa bumi yang sangat besar atau gempa bumi yang sangat dalam, frekuensi tunggal yang digunakan untuk menghitung M_s belum tentu mewakili dimensi gempa dan, karenanya, tidak mungkin perwakilan dari energi yang terpancar. Karena energi terpancar sekarang dapat dihitung secara langsung, itu adalah parameter independen dari yang berkekuatan unik dapat didefinisikan (Bormann and Giacomo 2010).

Pemancaran energi gempa bumi dapat bernilai besar maupun kecil, hal ini tergantung dari karakteristik batuan yang ada

dan besarnya stress yang dikandung oleh suatu batuan pada suatu daerah. Pada suatu batuan yang rapuh (batuan yang heterogen), stress yang dikandung tidak besar karena langsung dilepaskan melalui terjadinya gempa bumi kecil yang banyak. Sedangkan untuk batuan yang lebih kuat (batuan yang homogen), gempa bumi kecil jarang atau bahkan tidak pernah terjadi sehingga stress yang dikandung sangat besar dan pada saat batuanya tidak mampu lagi menahan stress maka akan terjadi gempa bumi dengan magnitudo yang besar (Ibrahim *et al.* 2004).

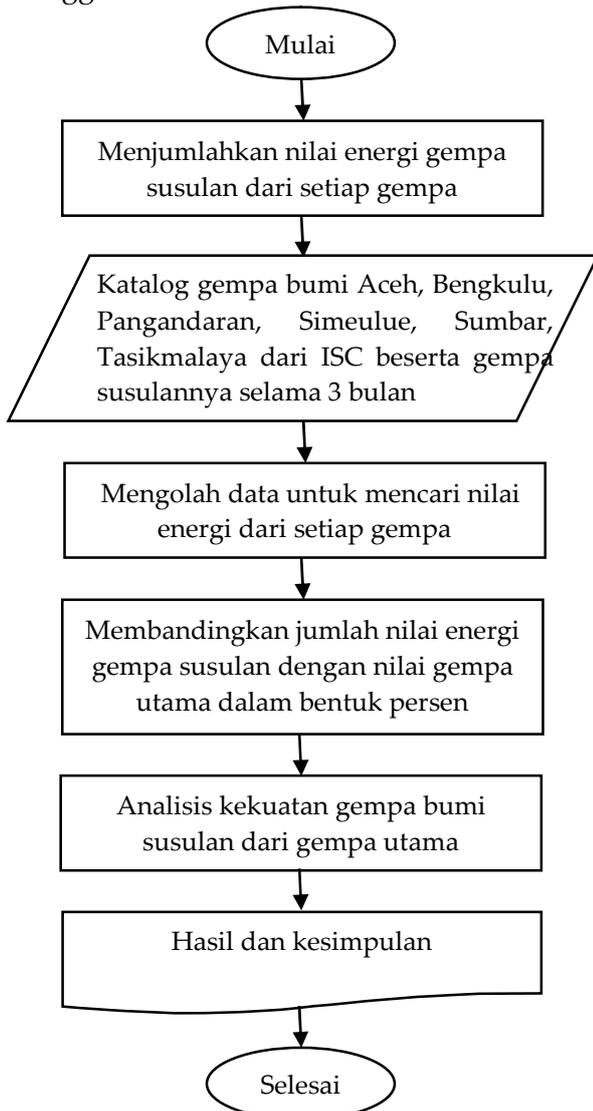
II. METODE PENELITIAN

Daerah penelitian ini adalah wilayah Sumatera dan selatan pulau Jawa.

- Pulau Sumatera adalah pulau terbesar keenam di dunia, terletak di Indonesia dengan koordinat $0^{\circ}00' LU$ $102^{\circ}00' BT$ dan luas 470.000 km^2 . Dengan penduduk sekitar $42.409.510$ jiwa, pulau ini membujur dari barat laut ke arah tenggara dan melintasi khatulistiwa, seolah membagi pulau Sumatera atas dua bagian, Sumatra belahan bumi utara dan Sumatra belahan bumi selatan.
- Pulau Jawa merupakan pulau yang terpadat penduduknya per kilometer persegi di Indonesia dengan koordinat $7^{\circ}30'10'' LS$, $111^{\circ}15'47'' BT$ dan luas 126.700 km^2 ($48.919,1 \text{ mil}^2$). Pulau ini melintang dari Barat ke Timur, berada di belahan bumi selatan.

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder berupa data parameter-parameter gempa yaitu magnitudo, lokasi episenter (berupa lintang dan bujur) dan kedalaman gempa. Data historis gempa bumi diperoleh dari ISC (*International Seismological Center*) yang isinya data lima gempa bumi besar (Bengkulu, Pangandaran, Simeulue, Sumatera barat, dan Tasikmalaya) beserta gempa susulannya yang diambil selama tiga bulan setelah gempa utama. Dalam penelitian ini, data gempa susulan selama 3 bulan dianggap sudah mewakili seluruh gempa susulan.

Setelah data diperoleh, selanjutnya menghitung nilai energi gempa bumi pada masing - masing gempa dengan menggunakan rumus perhitungan energi dari Guttenberg-Richter. Setelah nilai energi didapat, langkah selanjutnya menjumlahkan nilai energi gempa bumi susulannya pada setiap gempa bumi. Dari penjumlahan tersebut, bisa didapat jumlah energi gempa susulan, yang selanjutnya nilai tersebut dibandingkan dengan nilai energi gempa bumi utamanya. Kemudian, hasil perbandingannya dibuat dalam bentuk persen pada masing-masing gempa untuk mengetahui seberapa besar kekuatan energi gempa bumi susulan dari energi gempa bumi utama. Terakhir melakukan pemetaan sebaran energi gempa dengan menggunakan ArcGIS 9.3.



Gambar 2. Struktur dan Alur Diagram Penelitian

Dalam perhitungan nilai energi ini diasumsikan bahwa struktur kulit bumi daerah penelitian adalah homogen, penjaralan energi gelombang gempa adalah sama pada setiap daerah dan kecepatan gelombang adalah sama.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data yang dilakukan dengan menghitung energi gempa bumi utama dan jumlah energi gempa bumi susulannya, kemudian membandingkannya. Untuk menghitung nilai energi gempa bumi pada masing - masing gempa, digunakan rumus empiris dari Guttenberg-Richter. Perhitungan dilakukan untuk lima gempa bumi yang cukup besar, yaitu gempa bumi Bengkulu (2007), Pangandaran (2006), Simeulue (2008), Sumatra barat (2009) dan Tasikmalaya (2009). Hasilnya seperti terlihat pada Tabel 1.

Dari perhitungan lima buah gempa bumi di atas, diperoleh hasil bahwa jumlah energi gempa bumi susulan bervariasi dari 0.1% hingga 33%. Variasi tersebut juga random dan tidak berpola bila ditinjau dari magnitudonya, artinya tidak tentu bahwa gempa bumi dengan magnitude besar, energi gempa bumi susulannya juga besar, atau sebaliknya.

Hal ini mungkin saja terjadi kesalahan dalam seleksi atau pemilihan gempa bumi susulannya, terutama untuk gempa bumi Sumatra barat (2009), dimana jumlah energi gempa bumi susulannya hanya 0,1% dari energi gempa bumi Utama. Secara umum besarnya energi gempa bumi susulan jumlahnya sekitar 10% dari gempa bumi utama.

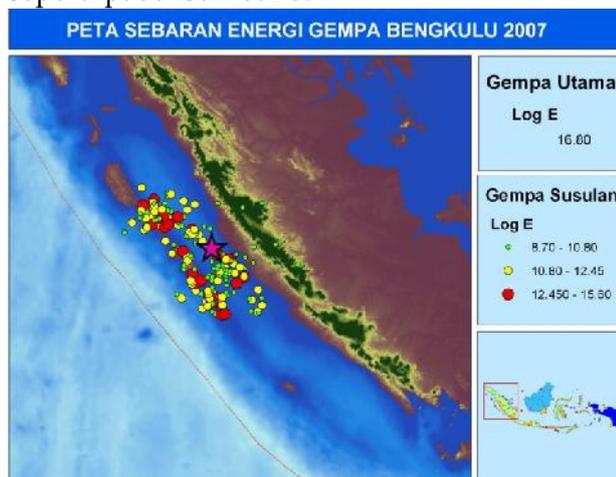
Akan tetapi bila diperhatikan prosentase gempa bumi susulan untuk gempa bumi Sumbar(2009) dan gempa bumi Tasikmalaya (2009), prosentasenya lebih kecil bila dibandingkan dengan energi gempa bumi susulan dari gempa bumi Pangandaran(2006), Bengkulu(2007) dan Simeulue(2008). Pada kelompok pertama, jumlah energi gempa bumi susulannya dibawah 10%, sedangkan pada kelompok kedua diatas 10%.

Tabel 1. Perbandingan Energi Tiap Gempa

Daerah Gempa Bumi	Tanggal Gempa	Energi gempa utama	Energi gempa susulan	Perbandingan Energi (%)	Mag	Depth	Mekanisme Gempa
Bengkulu	12 September 2007	6,03x10 ¹⁵	8,01x10 ¹³	12,69	8	36	Sesar naik
Pangandaran	17 Juli 2006	2,80x10 ¹⁴	9,30x10 ¹³	33,04	7.1	20	Sesar naik
Simeulue	20 Februari 2008	1,10x10 ¹⁵	2,50x10 ¹⁴	22,78	7.5	31,4	Sesar naik
Sumatera Barat	30 September 2009	1,50x10 ¹⁵	1,60x10 ¹²	0,10	7.6	90,2	Sesar geser
Tasikmalaya	2 September 2009	1,10x10 ¹⁵	2,50x10 ¹⁴	3,74	6.9	57,8	Sesar geser

Bila ditinjau lebih jauh bahwa gempa bumi Sumbar dan Tasik tersebut di atas merupakan gempa bumi dengan mekanisme sesar geser (*strike-slip*), sedangkan gempa bumi Bengkulu Pangandaran, dan Simeulue tersebut di atas, mekanismenya sesar naik (*thrust*). Sehingga dapat disimpulkan bahwa gempa bumi *strike-slip* energi gempa bumi susulannya lebih kecil dibanding dengan gempa bumi *thrust*.

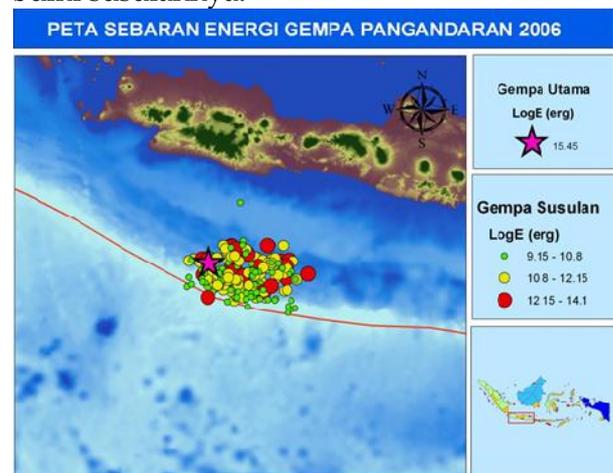
Untuk bahasan yang lebih lanjut akan analisa dengan melakukan evaluasi distribusi gempa bumi susulannya. Pemilihan gempa bumi susulan dipilih berdasarkan kriteria yang telah dijelaskan dalam Metode Penelitian. Hasil pemilihan gempa bumi susulan tersebut dipetakan, dengan hasil seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran gempa bumi susulan dari gempa utama Gempa bumi Bengkulu 2007.

Untuk Gempa bumi Bengkulu 12 September 2007, terlihat sebaran gempa bumi susulannya cukup merata (Gambar 3). Penyebaran terjadi dikedua arah, yaitu disebelah Barat laut dan Tenggara dari sekitar

Epicenter Gempa bumi Utama, sehingga gempa bumi Utama terletak hampir ditengah-tengah. Selain itu, dari peta tersebut dapat dilihat bahwa gempa bumi Bengkulu(2007) tidak berada di garis batas lempeng (*Plate boundaries*). Jumlah energi gempa susulannya adalah 12,70 % yang berarti sedikit lebih besar dari nilai rata-rata secara umum dari gempa bumi susulannya.

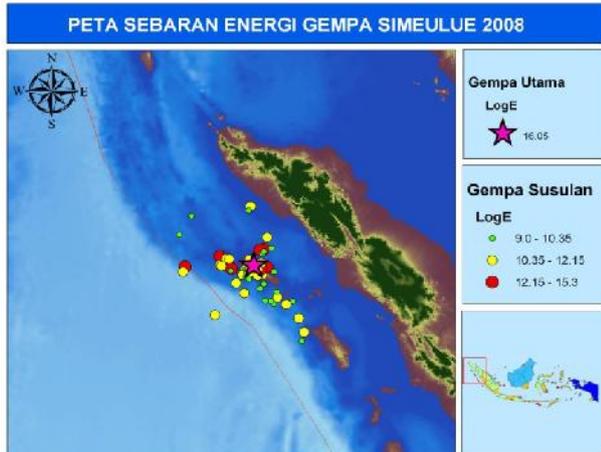


Gambar 4. Sebaran gempa bumi susulan dari gempa utama Gempa bumi Pangandaran 2006.

Gambar 4. adalah sebaran gempa bumi susulan dari gempa utama gempa bumi Pangandaran(2006). Untuk Gempa bumi Pangandaran 17 Juli 2006, terlihat sebaran gempa bumi susulannya berada di *Plate boundaries*, dimana gempa bumi utamanya berada di Barat. Persentase jumlah energi gempa bumi susulannya sebesar 33,05% dari energi gempa bumi utama. Sama seperti gempa Bengkulu (2007), nilai ini jauh lebih besar dari nilai rata-ratanya.

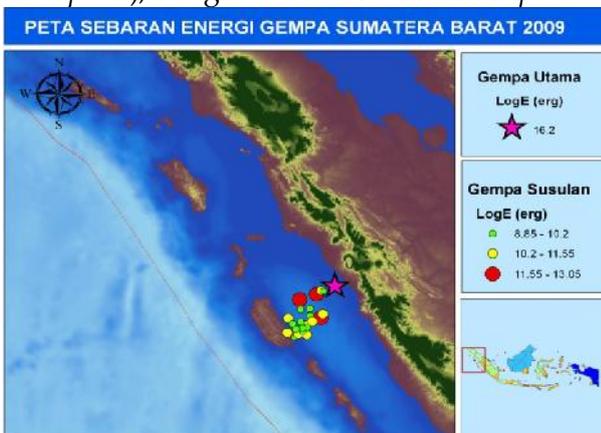
Untuk Gempa bumi Simeulue 20 Februari 2008, terlihat sebaran gempa bumi susulannya ada beberapa yang jauh dengan episenter gempa utamanya. Lokasi gempa

utama tidak di *plate boundaries*, tetapi terdapat gempa susulan berada di *plate boundaries*. Pada gempa ini, diperoleh perbandingan energi gempa bumi susulan sebesar 22,79% dari gempa utama. Nilai ini juga termasuk jauh lebih besar dari nilai rata-ratanya, sehingga perlu dilakukan koreksi gempa bumi susulannya.



Gambar 5. Sebaran gempa bumi susulan dari gempa utama Gempa bumi Simeulue 2008.

Sebaran susulan dari gempa bumi Sumatera Barat, 30 September 2009 terlihat pada Gambar 6. Pola sebarannya, memanjang tegak lurus dengan arah garis *plate boundaries* dengan gempa utama terletak diujung sebaran mendekati pantai. Hal ini menunjukkan bahwa gempa bumi Sumatra Barat(2009), bukan gempa bumi subduksi, tetapi pemecahan dari kerak bumi (*crustal earthquake*), dengan mekanisme *strike-slip*.



Gambar 6. Sebaran gempa bumi susulan dari gempa utama Gempa bumi Sumatra Barat 2009

Hasil perbandingan yang didapat untuk gempa ini adalah sebesar 0,10%. Nilai ini

cukup kecil bila dibandingkan dengan nilai rata-rata 10%. Dari hasil perhitungan ini paling tidak dapat disimpulkan bahwa gempa bumi dengan mekanisme sesar mendatar mempunyai energi gempa bumi susulan dengan prosentase kecil.



Gambar 7. Sebaran gempa bumi susulan dari gempa utama Gempa bumi Tasikmalaya 2009.

Gempa bumi Tasikmalaya tanggal 2 September 2009, memiliki magnitudo terkecil dalam penelitian ini. Hal ini juga dapat terlihat dari sebaran gempa bumi susulannya yang relative sedikit. Namun demikian, pola sebaran menunjukkan kemiripan dengan gempa bumi Sumbar(2009), yaitu tegak lurus dengan *trend plate boundaries* di dekatnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa mekanisme sumber gempa bumi Tasik adalah *strike-slip*. Sedangkan hasil perbandingan yang didapat untuk gempa ini adalah sebesar 3,74%. Oleh karena itu, menguatkan dari kesimpulan gempa bumi Sumbar (2009), bahwa gempa bumi dengan mekanisme *strike-slip* jumlah energi gempa bumi susulannya dibawah 10%, atau dibawah rata-rata secara umum.

IV. KESIMPULAN

1. Dari analisa dan perhitungan energi gempa bumi susulan dari 5 gempa bumi utama dengan magnitudo besar, energi gempa bumi susulannya berkisar antara 0.1 % hingga 33%, dengan pola yang acak.
2. Analisa lebih lanjut, yaitu dengan membandingkan energi gempa bumi susulan yang secara umum 10%, dapat disimpulkan bahwa gempa bumi dengan

mekanisme geser (strike-slip) mempunyai gempa bumi susulan dengan total energi kurang dari 10%. Sedangkan, gempa bumi dengan mekanisme thrust mempunyai gempa bumi susulan dengan total energi lebih dari 10%.

3. Dengan pola ini, BMKG dapat memberikan perkiraan besaran dan tingkat bahaya suatu gempa bumi yang memiliki sebaran susulan dengan cara memperhatikan mekanisme gempa bumi utamanya.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada bidang gempa bumi BMKG dan segenap jajaran dan kru-nya serta mbak olympia yang selalu memberikan saran dan motivasi selama penulisan ini dibuat.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Benioff, H., 1951. Earthquakes and rock creep:(Part I: Creep characteristics of rocks and the origin of aftershocks). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1), 31-62.

- Bormann, P., and Di Giacomo, D., 2010. The moment magnitude M_w and the energy magnitude M_e : common roots and differences. *Journal of Seismology*, 15(2), 411-427.
- Bullen, K. E., 1965. Models for the Density and Elasticity of the Earth's Lower Core. *Geophysical Journal International*, 9(2-3), 233-252.
- Ibrahim, Gunawan., and Subardjo., 2004. *Seismologi*. Jakarta: BMKG.
- Mogi, K., 1963. *Some discussions on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms: the fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena (third paper)*.
- Nur, M., 2008. *Peluruhan Dan Distribusi Gempa Susulan (Studi Kasus Gempa Bengkulu 12 September 2007)* Jakarta.
- Wibowo, S.N.E., 2008. *Analisa Statistik Seismisitas Sulawesi Utara Dan Sekitarnya Periode 1973 – 2007*, Jakarta.
- Wesnousky, S. G. (1994). The Gutenberg-Richter or characteristic earthquake distribution, which is it?. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(6), 1940-1959.