

STUDI PROBABILITAS GEMPA DAN PERBANDINGAN ATENUASI PERCEPATAN TANAH METODE JOYNER DAN BOORE (1988), CROUSE (1991) DAN SADIGH (1997) DI SEKITAR WILAYAH BANDA ACEH DAN BENGKULU

Indriati Retno Palupi, Wiji Raharjo* dan Agus Santoso

Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Jln. SWK 104 Condong Catur Sleman Yogyakarta

**Korespondensi penulis, Email : wiji.raharjo@upnyk.ac.id*

Abstract

Sumatera is one island in Indonesia which is located near subduction zone. It is prone of earthquake, but the level of prone is not same in each province on its, like in Banda Aceh and Bengkulu. Both of them are the site of this research. Probability is one way to know characteristic or earthquake distribution on both of the site. Earthquake distribution in Aceh is more convergence than Bengkulu. It means that earthquake's number in Aceh is more than in Bengkulu. It is done for fault source and area source of earthquake. Ground motion because of earthquake can display by acceleration and attenuation curve. It can be calculated by Joyner & Boore (1988), Crouse (1991) and Sadigh (1997) method.

Keywords: *PSHA, acceleration, Joyner & Boore (19988), Crouse (1991) and Sadigh (1997) method*

Abstrak

Pulau Sumatera sebagai salah satu pulau di Indonesia yang berada dekat dengan zona subduksi merupakan salah satu pulau yang rawan akan bencana gempabumi, akan tetapi tingkat kerawanan akan bencana tersebut tidak selalu sama pada tiap provinsi atau daerah yang ada di Sumatera, seperti di kota Banda Aceh dan Bengkulu yang menjadi site dalam penelitian ini. Melalui studi probabilitas dapat diketahui karakter atau pola distribusi gempa bumi pada kedua site penelitian dimana pola distribusi gempa untuk site kota Banda Aceh lebih rapat atau lebih sering terjadi dibandingkan dengan kota Bengkulu baik pada sumber gempa garis maupun sumber gempa area. Guncangan akibat gempa bumi dapat menimbulkan percepatan tanah di permukaan yang karakternya digambarkan melalui kurva percepatan tanah dan atenuasi percepatan tanah menggunakan metode Joyner & Boore (1988), Crouse (1991) dan Sadigh (1997) baik untuk sumber gempa garis maupun area. Hasilnya adalah masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam interpretasi geologinya.

Kata Kunci: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Percepatan gerakan tanah, Metode Joyner & Boore (1988), Crouse (1991) Dan Sadigh (1997).*

Pendahuluan

Secara Geografis wilayah Indonesia terletak diantara pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Indo Australia, Eurasia dan Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak ke utara dan menumbuk lempeng Eurasia dengan kecepatan 50-70 mm/tahun, keduanya bertemu di lepas pantai barat Sumatera,

lepas pantai selatan Jawa dan Nusa Tenggara, dan berbelok ke arah utara Maluku selatan. Lempeng Pasifik bergerak dengan kecepatan 120 mm/tahun ke arah baratdaya dan menabrak bagian utara Pulau Papua New Guinea dan terus ke barat sampai ke bagian timur Sulawesi. Gerakan dan tabrakan antar lempeng inilah yang

menyebabkan terjadinya gempabumi (Natawidjaja, 2007).

Berdasarkan uraian di atas dapat dipahami bahwa Sumatera merupakan daerah yang sangat rawan akan bencana gempa bumi. Menurut Enghdal, dkk (1998) dalam Pribadi, dkk (2013) telah terjadi sebanyak 4668 gempabumi di Sumatera dengan rentang magnitudo $3 < M_w < 9$ dari tahun 1960 sampai dengan 1998.

Magnitudo merupakan salah satu parameter yang sering digunakan dalam pengambilan keputusan terutama untuk peringatan dini tsunami. Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa. Terdapat berbagai jenis magnitudo, salah satunya adalah M_w . M_w adalah magnitudo momen yang diketahui hasilnya lebih akurat dan tidak akan mengalami saturasi terutama pada gempa-gempa besar (Perdanawanti, dkk, 2012).

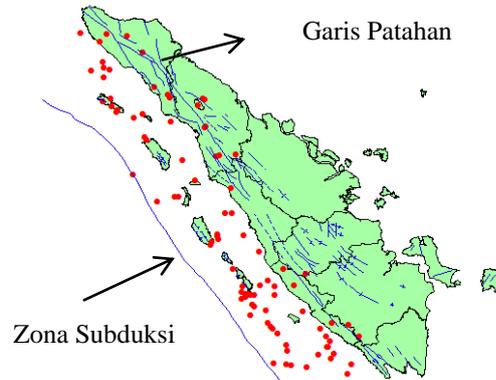
Penelitian ini bertujuan untuk meneliti seberapa besar probabilitas besarnya magnitudo di Banda Aceh dan Bengkulu akibat gempabumi dan perbandingan attenuasi percepatan tanah akibat guncangan gempabumi dengan menggunakan berbagai metode yaitu Joyner & Boore (1988), Crouse (1991), dan Sadigh (1997). Hasil dari penelitian ini kemudian akan diinterpretasi secara geologi.

Metode Penelitian

Data dan Area Penelitian

Penelitian ini menggunakan data gempa di Sumatera sejak tahun 2008 sampai dengan 2013 berdasarkan data BMKG yang terdapat pada Tugas Akhir Prasetyo (2014). Jumlah keseluruhan gempa adalah 294 kejadian seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Magnitudo yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnitudo momen (M_w) dengan rentang nilai $5 < M_w < 7,7$

dan terdapat 93 kejadian gempa yang memenuhi kriteria yang telah disebutkan. Kedalaman pusat gempa bervariasi mulai dari kedalaman 10 km sampai dengan 208 km.



Gambar 1. Sebaran gempa di Sumatera dari tahun 2008 sampai dengan 2013. Titik-titik merah adalah episenter gempa (Prasetyo, 2014)

Fokus daerah yang menjadi *site* untuk daerah penelitian adalah Ibukota Provinsi Aceh yaitu Banda Aceh dengan koordinat $5,27^{\circ}\text{LU}$ dan $95,27^{\circ}\text{BT}$ dan Ibukota Provinsi Bengkulu yaitu Bengkulu dengan koordinat $3,01^{\circ}\text{LS}$ dan $102,23^{\circ}\text{BT}$. *Site* yang dipilih berupa suatu titik sehingga dapat diperkirakan probabilitas magnitudo gempa dan attenuasi percepatan tanahnya pada daerah dengan jarak tertentu dari *site* dengan berbagai mekanisme sumber gempa diantaranya sumber gempa berupa patahan, area dan sumber gempa dengan *fault* 3D seperti yang terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Makrup (2013) dalam bukunya yang berjudul Seismic Hazard untuk Indonesia dengan studi kasus untuk Ibukota Sumatera Barat yaitu Padang.

Parameter Seismik dan Tektonik Sumatera

Penentuan parameter Seismik dan Tektonik perlu dilakukan untuk mengetahui seismisitas dan besarnya tekanan akibat gempabumi. Parameter

seismik dan tektonik dapat diketahui dari hubungan Guttenberg-Richter sebagai berikut :

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

dengan $\log n(M)$ adalah jumlah kejadian gempa, a dan b adalah konstanta. a adalah seismisitas yang berhubungan dengan banyaknya gempa yang terjadi di wilayah tertentu, b adalah *b-value* yang merupakan fungsi stress dari suatu batuan dimana tingkat stress yang tinggi berkorespondensi dengan *b-value* yang rendah dan sebaliknya (Chao & Gao, 2002). Berdasarkan data didapatkan besar nilai a dan b yaitu 4,99 dan 0,76.

Kejadian gempa dapat digambarkan melalui distribusi magnitudo salah satunya dengan menggunakan persamaan distribusi eksponensial. Penggunaan distribusi eksponensial dikarenakan hubungan statistik frekuensi-magnitudo gempa sering direpresentasikan melalui distribusi eksponensial dan perhitungannya secara analitik lebih disukai dalam perhitungan hazard (McGuire, 2004 dalam Makrup (2013)). Dari persamaan (1) dapat diturunkan persamaan distribusi eksponensial seperti pada persamaan (2) sebagai berikut :

$$N(M) = e^{\alpha - \beta M} \quad (2)$$

dengan $\alpha \approx 2.303a$ dan $\beta \approx 2.303b$. Magnitudo kecil yang tidak menimbulkan efek kerusakan dapat diabaikan dengan cara dimasukan kedalam persamaan (2), sehingga persamaan (2) dapat dituliskan kembali dalam bentuk :

$$N(M) = e^{-\beta m_0} \quad (3)$$

dengan m_0 adalah batas magnitudo yang ingin diabaikan, sehingga $N(M)$ pada persamaan (3) merupakan jumlah total kejadian gempa dengan magnitudo $m > m_0$. Selanjutnya dihitung probabilitas magnitudo yang lebih besar atau sama dengan m_0 dengan menggunakan fungsi

distribusi kumulatif seperti pada persamaan dibawah ini :

$$F_M(M) = \frac{1 - e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_u-m_0)}} \quad (4)$$

dimana $F_M(M)$ adalah fungsi distribusi kumulatif, m adalah magnitudo yang lebih besar atau sama dengan m_0 dan m_u adalah magnitudo terbesar (Makrup, 2013). Untuk mengetahui karakter atau perilaku suatu distribusi probabilitas digunakan fungsi kerapatan probabilitas, pada studi ini adalah fungsi kerapatan probabilitas dari $F_M(M)$ yaitu :

$$f_M(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_u-m_0)}} \quad , m_0 < m < m_u \quad (5)$$

dengan $f_M(m)$ adalah fungsi kerapatan probabilitas atau biasa juga disebut fungsi kerapatan distribusi eksponensial terpancung (Makrup, 2013).

Percepatan dan Atenuasi Percepatan Tanah

Penentuan nilai percepatan tanah diperlukan dalam analisis resiko gempa bumi, sedangkan hubungan antara intensitas getaran tanah, magnitudo dan jarak suatu daerah dari sumber gempa bumi dapat digambarkan melalui fungsi atenuasi. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi fungsi atenuasi percepatan tanah adalah mekanisme gempa, jarak episenter dan kondisi tanah lokal.

Mekanisme gempa, terutama gempa besar yang berasal dari aktivitas tektonik yang biasa terjadi pada zona subduksi ataupun patahan biasanya merupakan gempa dalam yang mempunyai frekuensi yang berbeda dengan gempa dangkal yang mempengaruhi besarnya percepatan dan atenuasi percepatan tanah.

Jarak episenter mempengaruhi kondisi batuan yang mengakibatkan perbedaan percepatan dan atenuasi percepatan

tanah akibat suatu kejadian gempa bumi, sedangkan kondisi tanah lokal juga mempunyai peran penting terutama jika gempa tersebut mengenai suatu batuan dasar dapat diperkuat, diperlemah ataupun berubah kondisi frekuensinya karena tersaringnya getaran dengan frekuensi tinggi (Darjanto, 2005).

Beberapa metode dalam menghitung nilai percepatan dan atenuasi percepatan tanah adalah metode Joyner & Boore (1988), Crouse (1991) dan Sadigh (1997). Metode-metode tersebut ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

Metode Joyner & Boore (1988)

$$a = 10^{(0.43+0.23(M_W-6)-\log r-0.0027r)} \quad (6)$$

dimana $r = \sqrt{r_0^2 + 8^2}$

dengan a adalah percepatan tanah, r adalah jarak dalam km, dan r_0 adalah jarak terdekat dari *site* terhadap proyeksi vertikal dari gempa akibat patahan pada permukaan tanah dalam km. Fungsi atenuasi diketahui dengan menghitung nilai logaritma dari a . Fungsi atenuasi Joyner & Boore (1991) digunakan untuk mengetahui besarnya atenuasi percepatan tanah horizontal maksimum.

Metode Crouse (1991)

$$a = e^{(11.5+0.657M-2.09 \ln(R+63.7e^{(0.128M)})-0.00397h)} \quad (7)$$

dengan a adalah percepatan tanah, M adalah magnitudo gempa, R adalah jarak terdekat dari *site* ke sumber gempa dalam km dan h adalah kedalaman hiposenter gempa. Fungsi atenuasi diketahui dengan menghitung nilai logaritma dari a . Fungsi atenuasi Crouse (1991) berdasarkan data gempa dengan mekanisme subduction yang diambil dari zona subduction Cascadia Pasifik Utara bagian barat dengan karakteristik percepatan horizontal dengan damping 5 %.

Metode Sadigh (1997)

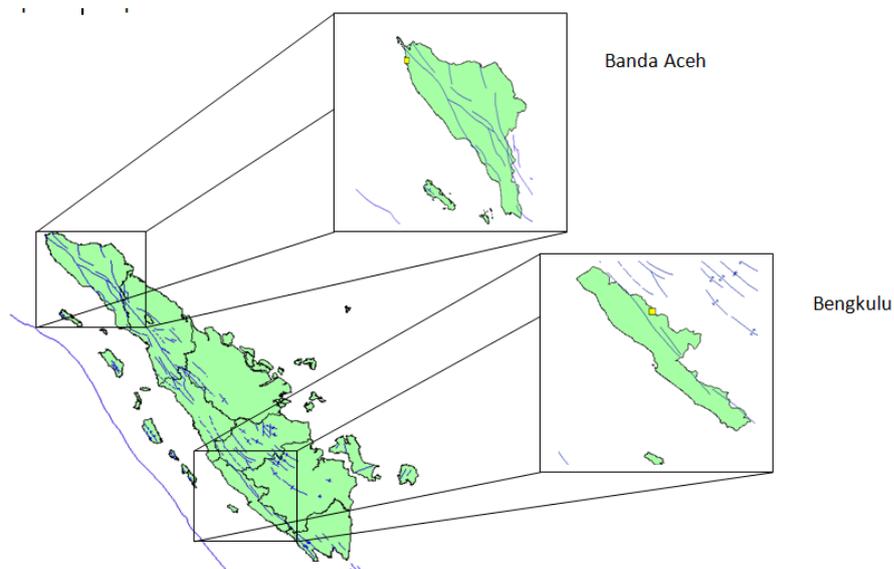
$$a = e^{(-1.274+1.1M-2.1 \ln(R_{rup}+e^{(-0.485+0.524M)}))} \quad (8)$$

dengan a adalah percepatan tanah, M adalah magnitudo dan R_{rup} adalah jarak terdekat dari *site* ke sumber gempa. Fungsi atenuasi percepatan tanah diketahui dengan menghitung nilai logaritma dari a . Fungsi atenuasi ini dikembangkan oleh Sadigh untuk mengakomodasi besar magnitudo yang lebih besar dari 6.5 dengan mekanisme gempa *strike slip* (Makrup, 2013).

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) dan Atenuasi Percepatan Tanah

Sumber gempa garis

Perhitungan dengan sumber gempa garis mengandung definisi bahwa sumber gempa dianggap sebagai garis (patahan). *Site* yang diambil adalah kota Banda Aceh dan Bengkulu masing-masing dengan koordinat 5,27°LU dan 95,27°BT dan 3,01°LS dan 102,23°BT. Lokasi *site* penelitian dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Lokasi *site* kota Banda Aceh dan Bengkulu masing-masing ditunjukkan oleh kotak berwarna kuning

Site kota Banda Aceh dengan sumber gempa garis

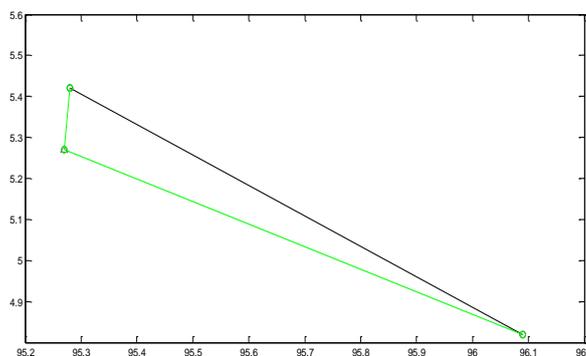
Pada penelitian dengan *site* kota Banda Aceh diambil *fault* atau patahan dengan koordinat ujung-ujungnya adalah $95,28^{\circ}\text{BT}$, $5,42^{\circ}\text{LU}$ dan $96,09^{\circ}\text{BT}$, $4,82^{\circ}\text{LU}$, sesuai dengan salah satu segmen yang merupakan sesar Sumatera yaitu segmen Aceh ($4,4^{\circ}\text{LU}$ sampai $5,4^{\circ}\text{LU}$) (jbptitbpp-gdl-rakhindrop, 2008).



Gambar 3. *Fault* yang digunakan sebagai sumber gempa garis (ditandai dengan lingkaran merah) dengan kota Banda Aceh (kotak kuning) sebagai *site*.

Kemudian dihitung jarak maksimum dan minimum dari kota Banda Aceh

terhadap sumber gempa garis seperti diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Jarak antara *site* kota Banda Aceh dan ujung-ujung *fault*. Bulatan hijau merupakan koordinat ujung-ujung *fault*, garis hitam adalah jarak antara ujung-ujung *fault*, segitiga hitam adalah *site* kota Banda Aceh dan garis hijau adalah jarak *site* ke masing-masing ujung *fault*. Garis putus-putus merupakan jarak minimum antara *site* dan jarak antara ujung-ujung patahan.

Jarak minimum untuk kota Banda Aceh adalah 11,7995 km dan jarak maksimumnya adalah 103,8251 km, yang kemudian antara jarak minimum dan maksimum dibagi menjadi 10 segmen untuk mengetahui probabilitas

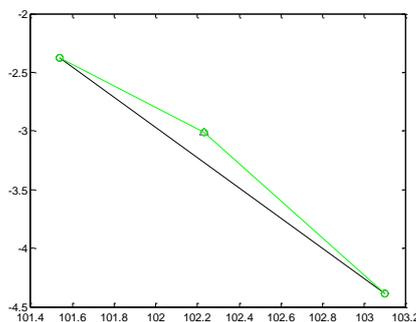
magnitudo terhadap jarak dan atenuasi percepatan tanahnya

Site kota Bengkulu dengan sumber gempa garis

Koordinat *fault* atau patahan yang dipilih untuk kota Bengkulu adalah 101,54°BT, 2,38°LS dan 103,10°BT, 4,39°LS dengan *site* ibukota Provinsi Bengkulu yaitu kota Bengkulu dengan koordinat 102,23°BT, 3,01°LS seperti ditunjukkan pada Gambar 5 sedangkan ilustrasi jarak antara *site* kota Bengkulu dengan ujung-ujung patahan diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 5. *Site* kota Bengkulu yang ditandai dengan kotak kuning dan *fault* patahan sebagai sumber gempa garis yang ditandai dengan lingkaran merah



Gambar 6. Ilustrasi jarak antara *site* kota Bengkulu (segitiga hitam) dengan ujung-ujung koordinat *fault* (lingkaran hijau). Garis hitam adalah jarak antara ujung-ujung *fault* dan garis hijau adalah jarak antara kota Bengkulu dengan ujung-ujung *fault*. Garis

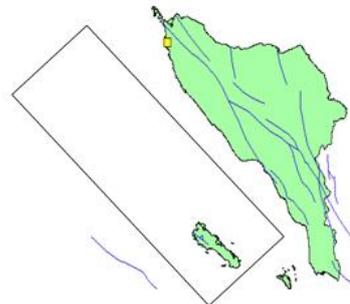
hitam putus-putus menunjukkan jarak minimum antara kota Bengkulu dan jarak antara ujung-ujung *fault*.

Jarak minimum antara *site* kota Bengkulu dengan jarak ujung-ujung *fault* adalah 73,3356 km dan jarak maksimumnya adalah 181,0798 km, kemudian dibuat 10 segmen diantara keduanya untuk dihitung probabilitas magnitudo dan atenuasi percepatan tanahnya.

Sumber gempa area

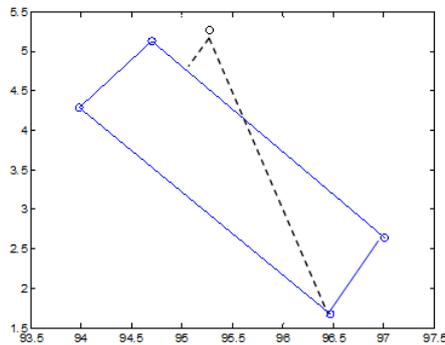
Site kota Banda Aceh dengan sumber gempa area

Sumber gempa area untuk kota Banda Aceh diambil pada sebelah barat Provinsi Banda Aceh dekat dengan zona subduksi seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Site* kota Banda Aceh dan sumber gempa area yang ditandai dengan persegi berwarna hitam

Selanjutnya dihitung jarak dari *site* kota Banda Aceh ke masing-masing titik sudut dari area persegi dan didapatkan jarak minimum 53,5165 km dan jarak maksimum 249,1944 km seperti diilustrasikan pada Gambar 8.

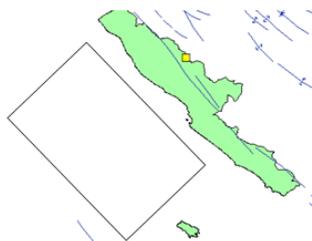


Gambar 8. Ilustrasi *site* kota Banda Aceh (bulatan hitam) dan titik-titik sudut area (bulatan biru) dengan garis biru adalah batas luasan area. Garis putus-putus masing-masing menunjukkan jarak minimum dan maksimum dari *site*.

Kemudian antara jarak minimum dan maksimum dibagi menjadi 10 segmen jarak dimana jarak itu akan menjadi jarak-jarak untuk menghitung luasan masing-masing segmen untuk dihitung probabilitas magnitudo dan atenuasi percepatan tanahnya.

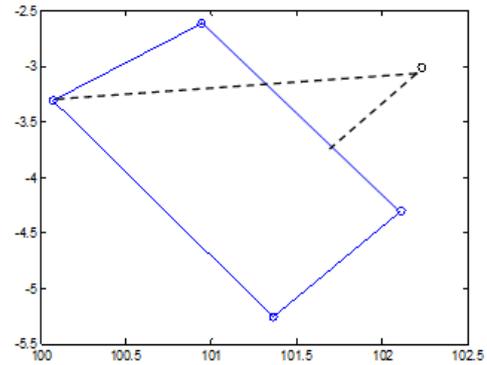
Site kota Bengkulu dengan sumber gempa area

Sumber gempa area dengan *site* kota Bengkulu juga dipilih area di sebelah barat Provinsi Bengkulu



Gambar 9. Ilustrasi sumber gempa area untuk *site* kota Bengkulu yang dibatasi dengan garis persegi warna hitam

Jarak minimum dan maksimum dari *site* kota Bengkulu terhadap sumber gempa area adalah 88,5951 km dan 247,3483 km, ilustrasinya diperlihatkan pada Gambar 10.



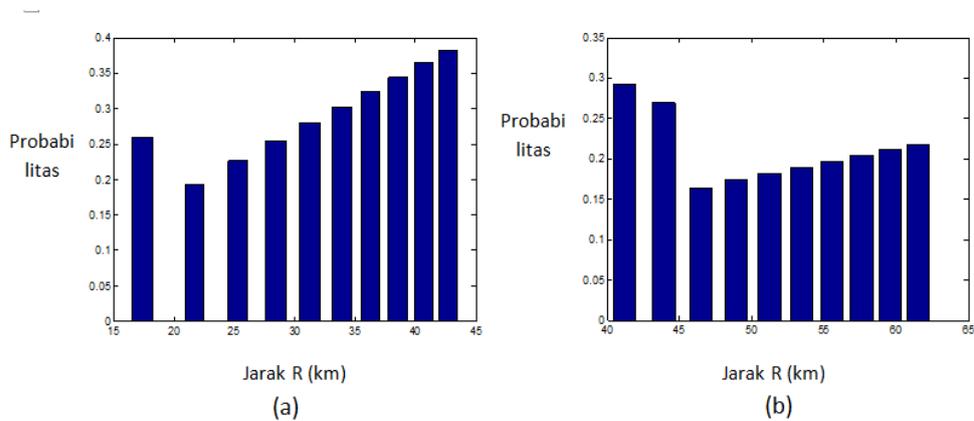
Gambar 10. Ilustrasi *site* kota Bengkulu (bulatan hitam) dan sumber gempa area (bulatan biru) dihubungkan dengan garis biru). Garis putus-putus hitam menunjukkan jarak minimum dan maksimum dari *site* kota Bengkulu ke batas sumber gempa area

Kemudian dilakukan perhitungan probabilitas magnitudo dan atenuasi percepatan tanah pada daerah-daerah yang berada di sekitar batas-batas sumber gempa area dengan terlebih dahulu membagi daerah sumber gempa area menjadi 10 luasan.

Hasil dan Pembahasan

Sumber gempa garis

Probabilitas jarak dengan sumber gempa garis untuk kedua *site* diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Kurva probabilitas terhadap jarak untuk sumber gempa garis dengan (a) *site* kota Banda Aceh, dan (b) *site* kota Bengkulu

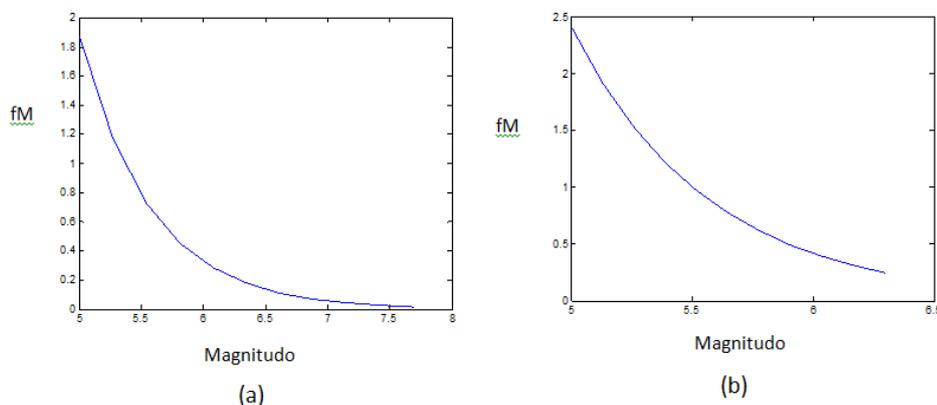
Berdasarkan Gambar 11, dapat diketahui bahwa kota Banda Aceh memiliki jarak terdekat 15 km dan terjauh kurang dari 45 km terhadap sumber gempa dan kota Bengkulu memiliki jarak terdekat 40 km dan terjauh kurang dari 65 km terhadap sumber gempa. Karakteristik kurva probabilitas jarak dengan sumber gempa garis untuk *site* kota Banda Aceh dengan jarak terdekat 15 km memiliki nilai probabilitas sekitar 0,25 kemudian probabilitas menurun sampai dengan 0,2 untuk jarak lebih dari 20 km. Pada jarak 25 km nilai probabilitas naik kembali dengan nilai kurang dari 0,25 dan semakin besar jarak maka nilai probabilitasnya semakin meningkat dengan nilai maksimal hampir mencapai 0,4. Hal ini diduga berhubungan dengan bentuk graben. Nilai probabilitas yang tinggi kemudian menurun di awal diduga berhubungan dengan litologi batuan yaitu dari batuan beku kemudian batuan sedimen, dan kemudian kenaikan kurva diduga sebagai batuan beku kembali yang dominan pada jarak diatas 25 km sesuai dengan kurva probabilitasnya.

Bentuk kurva pada Gambar 11 (b) juga menunjukkan hal yang serupa dengan Gambar 11 (a) hanya saja penurunan kurva di awal lebih curam di bandingkan kenaikan setelah penurunan kurva. Untuk *site* kota Bengkulu terjadi penurunan kurva yang tajam pada jarak kurang dari 45 km yaitu pada nilai probabilitas sebesar 0,3 menurun sampai 0,15, kemudian pada jarak diatas 45 km terjadi kenaikan kurva yang landai dengan probabilitas 0,2 pada jarak terjauhnya. Ilustrasi model geologi dari Gambar 11 diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Ilustrasi model geologi berdasarkan kurva probabilitas jarak (a) *site* kota Banda Aceh dan (b) *site* kota Bengkulu

Gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnitudo momen dengan skala ≥ 5 untuk kedua *site* penelitian. Karakter atau perilaku distribusi probabilitas magnitudo untuk kedua *site* ditunjukkan pada Gambar 13.

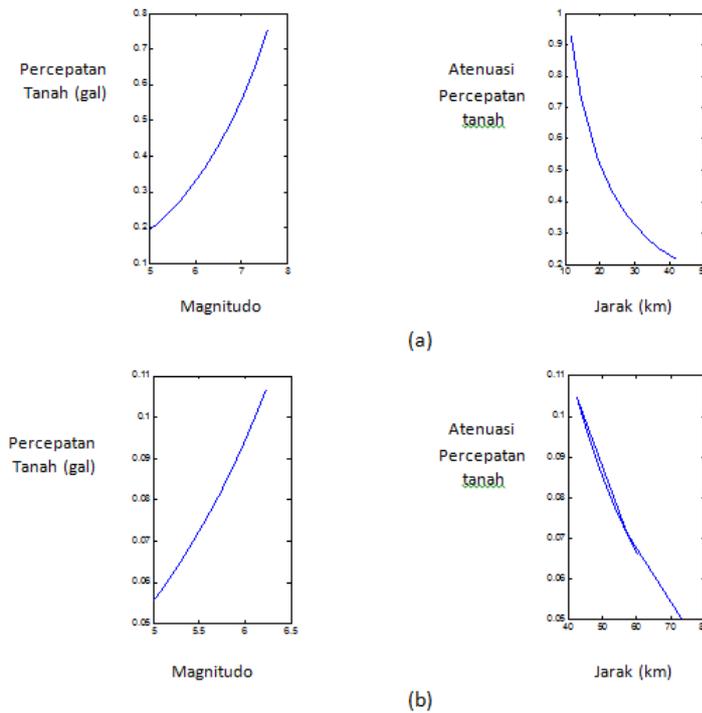


Gambar 13. Distribusi probabilitas magnitudo (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu

Berdasarkan Gambar 13 diketahui bahwa kurva distribusi probabilitas magnitudo untuk kota Banda Aceh lebih curam dibandingkan dengan kurva distribusi probabilitas magnitudo untuk kota Bengkulu. Hal ini berarti bahwa kota Banda Aceh memiliki tingkat kerawanan gempa yang cukup tinggi dibandingkan dengan kota Bengkulu yang ditunjukkan dengan distribusi probabilitas magnitudo yang lebih rapat.

Salah satu efek yang dirasakan akibat kejadian gempabumi adalah pergerakan tanah. Semakin besar magnitudo

gempabumi maka pergerakan tanah yang dirasakan juga semakin besar dan percepatan pergerakannya tinggi tetapi semakin jauh jarak suatu daerah dari sumber gempa maka pergerakan dan percepatan tanah yang dirasakan semakin mengecil. Pada penelitian ini dihitung nilai percepatan dan atenuasi percepatan tanah berdasarkan jarak dari sumber gempa dengan metode Joyner & Boore (1988), Crouse (1991) dan Sadigh (1997).



Gambar 14. Kurva percepatan tanah dan atenuasi percepatan tanah Joyner & Boore (1988) (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu

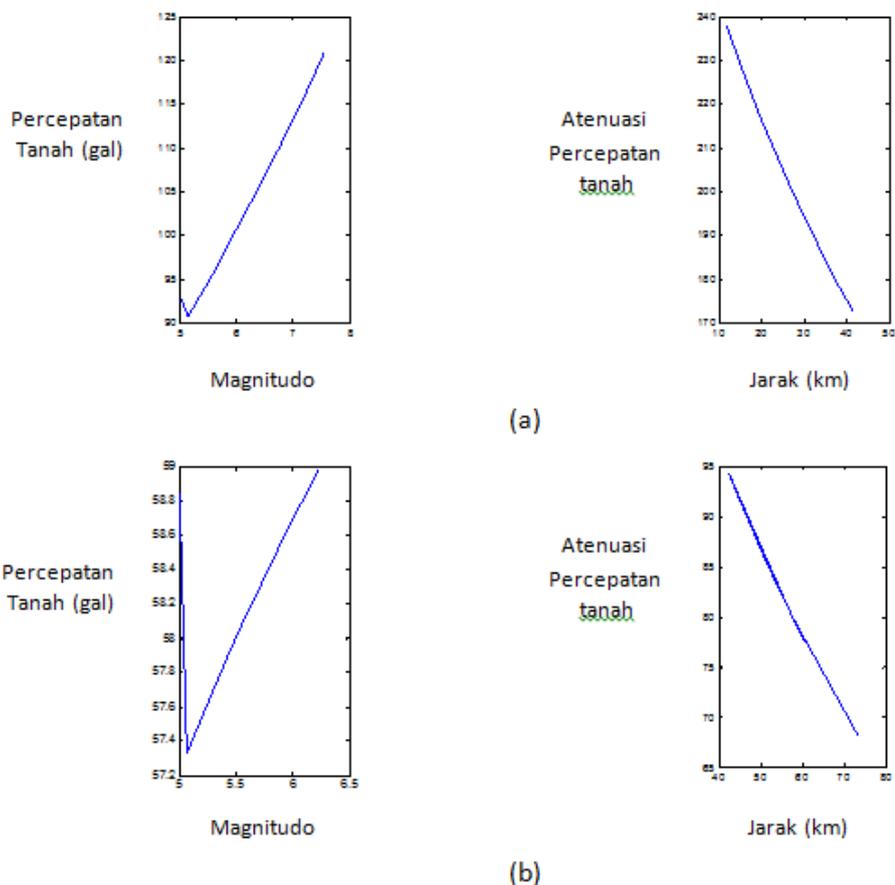
Letak *site* kota Banda Aceh pada penelitian ini yang berada di sebelah barat atau berdekatan dengan Samudera Hindia didominasi oleh batuan berstruktur keras, sehingga percepatan tanah akibat gempa memiliki nilai yang tinggi (kurva linier) dengan atenuasi percepatan yang linier atau curam. Untuk bagian tengah dari provinsi Aceh didominasi oleh batuan dengan struktur agak lunak yang berasosiasi dengan nilai percepatan yang tidak terlalu tinggi (kurva eksponensial) dan kurva atenuasi percepatan tanah yang tidak terlalu curam dan bagian timur dari provinsi Aceh didominasi oleh batuan berstruktur lunak yang berasosiasi dengan bentuk kurva percepatan tanah yang eksponensial dengan kurva atenuasi yang juga tidak curam. Sedangkan untuk provinsi Bengkulu hampir seluruhnya didominasi oleh batuan berstruktur keras, sehingga berasosiasi dengan bentuk kurva percepatan yang linier dan kurva atenuasi percepatan yang curam.

Selain itu, bentuk kurva percepatan tanah yang eksponensial berasosiasi juga dengan gempa dangkal dan bentuk kurva percepatan tanah yang linier berasosiasi dengan gempa dalam. Kurva percepatan tanah *site* kota Banda Aceh memiliki bentuk kurva yang lebih eksponen dengan kurva atenuasi percepatan tanah yang tidak terlalu curam. Hal ini menunjukkan bahwa di daerah ini gempa yang mendominasi adalah gempa dangkal, tetapi metode ini kurang dapat menginterpretasi kondisi geologi daerah penelitian yang didominasi oleh batuan berstruktur keras yang seharusnya memiliki kurva percepatan tanah yang linier dan atenuasi percepatan tanah yang curam.

Sedangkan bentuk kurva percepatan tanah untuk *site* kota Bengkulu lebih linier begitu pula dengan atenuasi percepatan tanahnya, sehingga dapat diketahui bahwa gempa yang terjadi di *site* penelitian ini didominasi oleh

gempa dalam dan metode ini juga dapat menggambarkan kondisi *site* yang

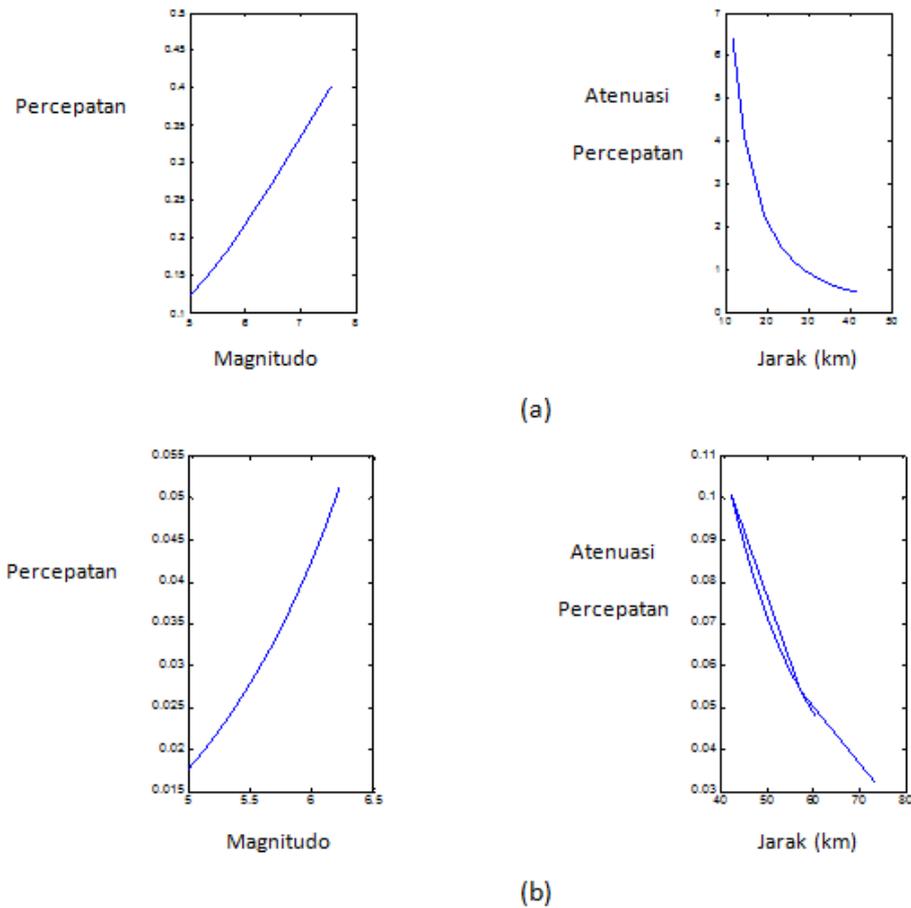
didominasi oleh batuan berstruktur keras.



Gambar 15. Kurva percepatan dan atenuasi percepatan tanah metode Crouse (1991) (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu.

Berdasarkan Gambar 15 diketahui bahwa fungsi percepatan dan atenuasi percepatan tanah metode Crouse (1991) lebih linier dibandingkan metode Joyner & Booner (1988) untuk kedua *site*, tetapi pada kurva percepatan tanah terdapat penurunan percepatan di awal yang pada *site* kota Banda Aceh tidak terlalu tinggi tapi sangat tinggi untuk *site* kota Bengkulu. Terjadinya penurunan kurva

tersebut dapat diinterpretasikan dengan adanya batuan yang belum tersedimentasi di sekitar *site* penelitian, tetapi pada kurva atenuasi percepatan tanah kedua *site* menunjukkan penurunan kurva yang linier, yang sesuai dengan kondisi *site* penelitian yang didominasi oleh batuan berstruktur keras.



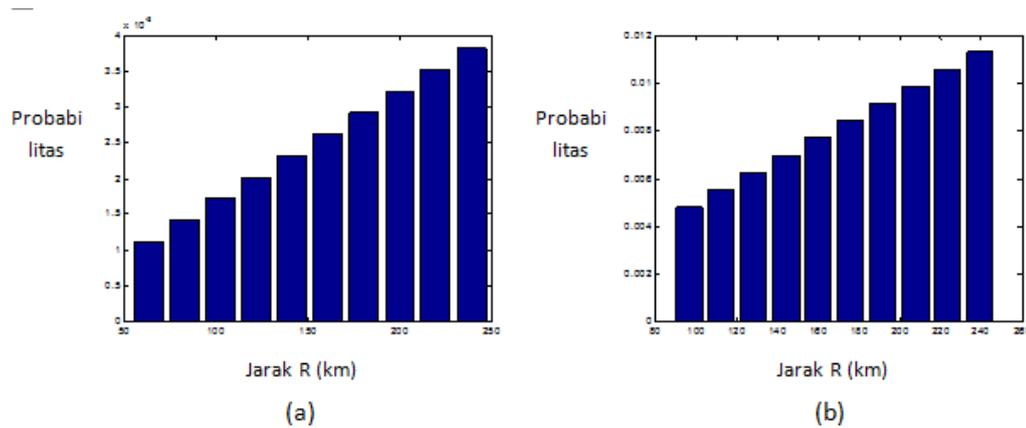
Gambar 16. Kurva percepatan dan atenuasi percepatan tanah metode Sadigh (1997) (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu

Berdasarkan Gambar 16 dapat dilihat kurva percepatan tanah untuk kota Banda Aceh lebih linier dan kurva atenuasi percepatan tanah yang curam, yang sesuai dengan kondisi *site* penelitian yang didominasi oleh batuan berstruktur keras, tetapi berdasarkan metode Sadigh (1997) ini gempa yang terjadi didominasi oleh gempa dalam. Untuk *site* kota Bengkulu kurva

percepatan tanahnya memiliki bentuk yang sedikit lebih eksponensial dengan kurva atenuasi yang juga tidak terlalu curam yang kurang dapat menginterpretasikan kondisi *site* penelitian yang didominasi batuan berstruktur keras, dan berdasarkan bentuk kurvanya diketahui gempa yang dominan terjadi adalah gempa dangkal sampai menengah.

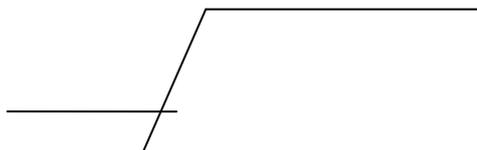
Sumber gempa area

Probabilitas jarak dengan sumber gempa area untuk kedua *site* diperlihatkan pada Gambar 17



Gambar 17. Probabilitas jarak untuk sumber gempa area (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu

Pada Gambar 17 dapat diketahui bahwa kedua *site* memiliki kurva probabilitas yang hampir serupa, hal ini dikarenakan keduanya berada pada jalur subduksi yang sama yaitu antara Lempeng Australia dan Eurasia. Sketsa bentuk morfologi geologi dari Gambar 17 diperlihatkan pada Gambar 18 sebagai berikut :

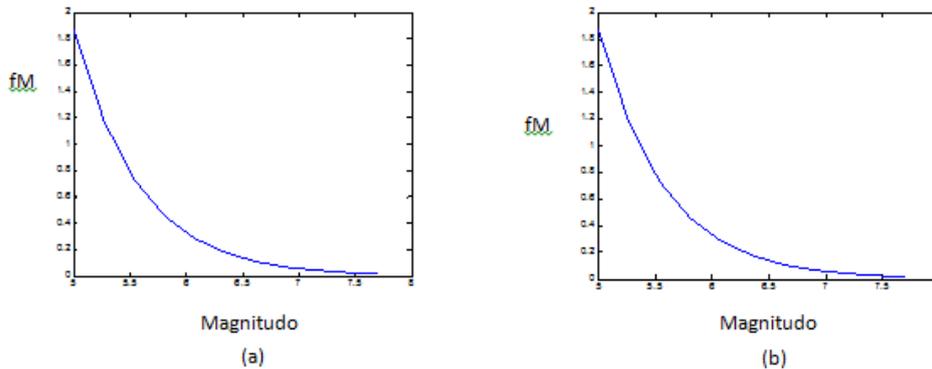


Gambar 18. Sketsa morfologi sumber gempa area untuk *site* kota Banda Aceh dan Bengkulu

Pada sumber gempa area ini jarak dihitung dari *site*, semakin besar jarak berarti semakin dekat ke jalur subduksi dan semakin besar kemungkinan

terjadinya gempa. Dari Gambar 17 diketahui bahwa pada daerah yang berjarak 100 km dari sumber gempa untuk *site* kota Banda Aceh memiliki peluang $\pm 0,0015$ dan untuk *site* kota Bengkulu memiliki peluang $\pm 0,004$. Peluang terjadinya gempa dengan magnitudo ≥ 5 untuk *site* kota Bengkulu pada jarak ini lebih tinggi dibandingkan *site* kota Banda Aceh, hal ini diperkirakan disebabkan oleh sumber gempa area untuk *site* kota Bengkulu lebih dekat dengan zona subduksi dibandingkan dengan kota Banda Aceh.

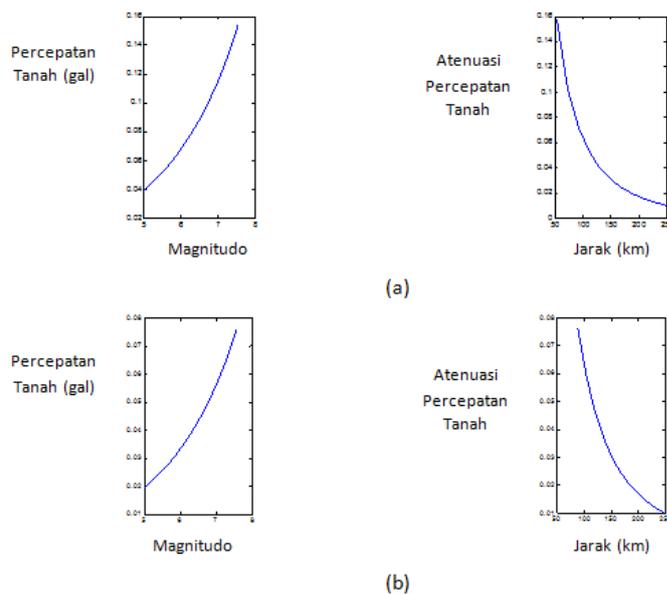
Karakteristik sebaran titik-titik kejadian gempa dengan sumber gempa area untuk kedua *site* diperlihatkan pada Gambar 19 sebagai berikut :



Gambar 19. Distribusi probabilitas magnitudo (a) *site* kota Banda Aceh ; (b) *site* kota Bengkulu

Karakteristik sebaran gempa dengan sumber gempa area untuk kedua *site* memperlihatkan pola yang sama, hal ini dikarenakan keduanya terletak pada jalur subduksi yang sama dengan sumber gempa area terletak di antara zona subduksi dan pulau Sumatera.

Efek percepatan tanah akibat sumber gempa area dan atenuasi percepatan tanah untuk kedua *site* juga dihitung dengan menggunakan metode Joyner & Boore (1988), Crouse (1991) dan Sadigh (1997) sebagai berikut :



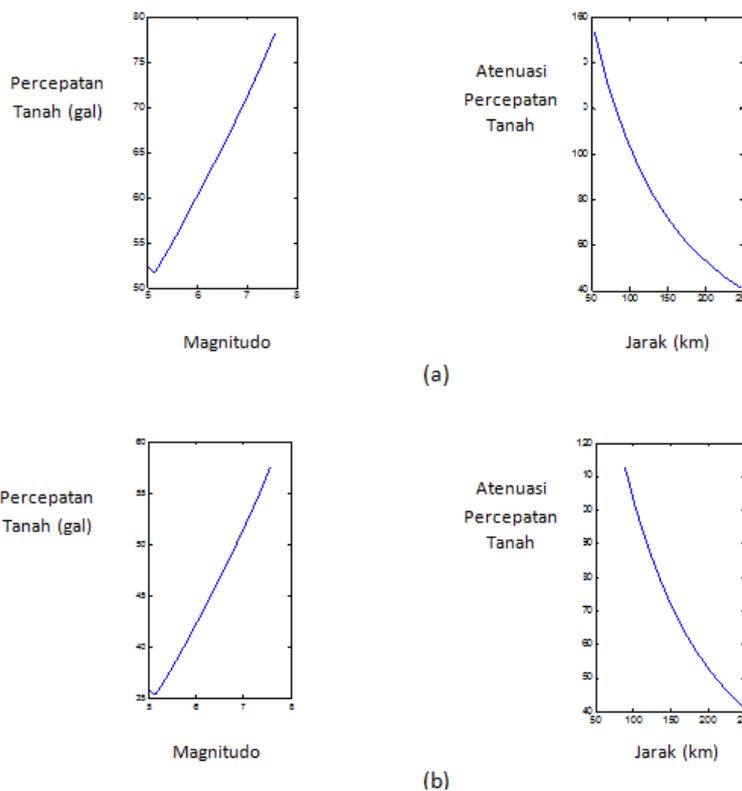
Gambar 20. Kurva percepatan dan atenuasi percepatan tanah menggunakan metode Joyner & Boore (1988) (a) *site* kota Banda Aceh ; (b) *site* kota Bengkulu

Dari Gambar 20 terlihat bahwa kurva percepatan tanah untuk kedua *site* berbentuk eksponensial yang diinterpretasikan dengan gempa yang terjadi didominasi oleh gempa dangkal, dengan kondisi geologi yang didominasi

oleh batuan yang berstruktur lunak, yang kemungkinan terletak pada zona subduksinya, sedangkan bentuk kurva atenuasi percepatan tanah untuk *site* kota Bengkulu lebih curam dibandingkan kota Banda Aceh yang diinterpretasikan

jarak kota Bengkulu yang lebih jauh dari zona subduksi dan didominasi oleh batuan keras dibandingkan dengan jarak kota Banda Aceh yang lebih dekat

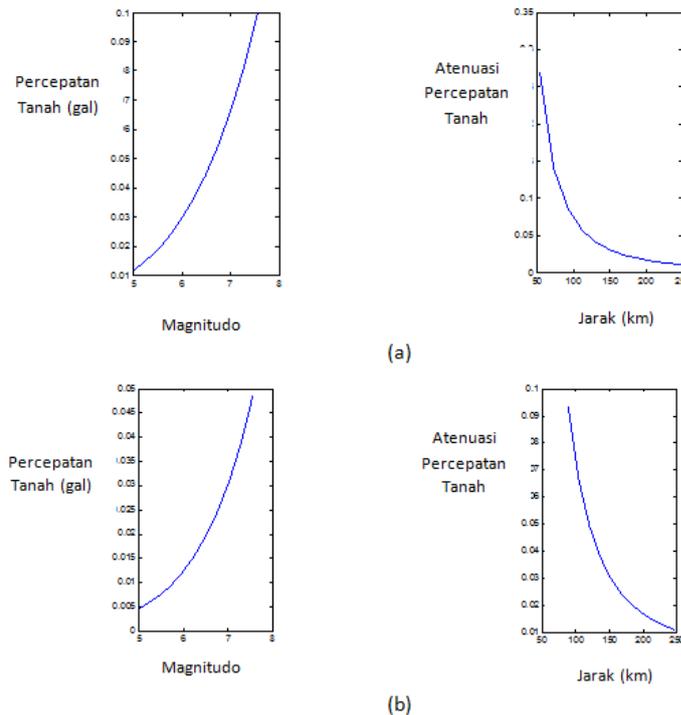
dengan zona subduksi walaupun *site* kota Banda Aceh juga didominasi oleh batuan keras.



Gambar 21. Kurva percepatan dan atenuasi percepatan tanah metode Crouse (1991) (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu

Kurva percepatan tanah untuk kedua *site* berdasarkan metode Crouse (1991) memiliki pola yang sama yang menunjukkan adanya batuan yang belum tersedimentasikan pada daerah penelitian, tetapi pada kurva atenuasi percepatan tanah untuk *site* kota Bengkulu lebih curam dibandingkan

dengan kota Banda Aceh dan atenuasi percepatan tanah pada jarak kurang dari 100 km tidak dapat diinterpretasikan, hal ini disebabkan oleh jumlah kejadian gempa di Bengkulu yang tidak sebanyak jumlah kejadian gempa di *site* kota Banda Aceh.



Gambar 22. Kurva percepatan dan atenuasi percepatan tanah metode Sadigh (1997); (a) *site* kota Banda Aceh; (b) *site* kota Bengkulu

Pada metode Sadigh (1997) dapat diketahui gempa yang dominan terjadi di sekitar *site* penelitian adalah gempa dangkal. Kurva percepatan tanah untuk *site* kota Bengkulu lebih eksponensial dibandingkan *site* kota Banda Aceh, hal ini diinterpretasikan dengan kondisi sumber gempa area yang didominasi oleh batuan berstruktur lunak pada *site* kota Bengkulu dan batuan berstruktur tidak terlalu lunak pada *site* kota Banda Aceh. Hal ini sesuai dengan atenuasi percepatan tanahnya dimana untuk *site* kota Bengkulu ditunjukkan oleh bentuk kurva yang lebih curam dibandingkan dengan *site* kota Banda Aceh.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada sumber gempa garis, metode Joyner &

Boore (1988) kurang dapat menginterpretasi kondisi *site* penelitian untuk *site* kota Banda Aceh tetapi sesuai untuk kondisi *site* kota Bengkulu, sedangkan pada sumber gempa area metode ini memiliki karakteristik yang mirip pada kedua *site*. Metode Crouse (1991) secara umum memperlihatkan karakter yang sama baik pada sumber gempa garis maupun area. Sedangkan untuk metode Sadigh (1997) kurang dapat menginterpretasi kondisi *site* kota Bengkulu tetapi sesuai untuk *site* kota Banda Aceh pada sumber gempa garis dan juga memiliki karakter yang mirip untuk kedua *site* pada sumber gempa area.

Referensi

- [1] Chao, A & Stephen S. Gao. 2002. *Temporal Variation of Seismic b-values beneath northeastern Japan island arc*. Geophysical Research Letters, Vol 29 No. 9

- [2] Darjanto, H. 2005. *Analisa Resiko Gempa Kasus : Proyek Pengeboran Minyak di Tiaka Field*. Jurnal Neutron, Vol 5 No. 1
- [3] jbptitbpp-gdl-rakhindrop, 2008. *Kondisi Seismotektonik Wilayah Sumatera*.
- [4] Natawidjaja, D.H. 2007. *Gempabumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman dari Bencana Alam*. DHL Laporan KLH final.
- [5] Makrup, 2013. *Seismic Hazard untuk Indonesia*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [6] Perdanawati, M, Gunawan Ibrahim, & Tri Wahyu Hadi. 2012. *Studi Penentuan Momen Magnitude (M_{wp}) Menggunakan Sinyal Gelombang P Broadband*. Bandung : ITB
- [7] Prasetyo, Bayu. 2014. *Analisa Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Bumi Menggunakan Metode Mc Guire di Pulau Sumatera*. UPN "Veteran" Yogyakarta: Skripsi
- [8] Pribadi, S, Gunawan Ibrahim, Nanang T. Puspito & Afnimar. 2013. *Karakterisasi Tsunamigenic Earthquake di Sumatera Berdasarkan Mekanisme Fokus Fase W dan Momen Seismic*. Jurnal Megasains, Vol 4 No 2

