

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bumi tempat kita tinggal berbentuk bulat seperti bola, namun rata pada kutub-kutubnya. Bumi memiliki jari-jari khatulistiwa sepanjang 6.378 km dan jari-jari kutub sepanjang 6.356 km. Lebih dari 70 % permukaan bumi diliputi oleh lautan yang kaya akan sumber daya alam. Kepulauan Indonesia terletak diantara batas 4 lempeng tektonik besar sehingga merupakan wilayah yang sangat rawan bencana gempa bumi.

Gempa adalah pergeseran tiba-tiba dari lapisan tanah di bawah permukaan bumi. Ketika pergeseran ini terjadi, timbul getaran yang disebut gelombang seismik. Gelombang ini menjalar menjauhi fokus gempa ke segala arah di dalam bumi. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya bisa merusak tergantung pada kekuatan sumber dan jarak fokus, disamping itu juga mutu bangunan dan mutu tanah dimana bangunan berdiri. Datangnya gempa bumi tidak dapat ditolak atau dihindari melainkan resiko bencananya diusahakan untuk dapat diminimalkan, salah satunya dengan memperhatikan konstruksi bangunan untuk perencanaan tata ruang kota di masa depan.

Apabila terjadi gempa bumi, salah satu efek yang ditimbulkan pada suatu tempat adalah percepatan tanah pada permukaan. Dengan mengetahui nilai percepatan tanah di suatu daerah maka dapat kita jadikan acuan dalam pembuatan bangunan tahan gempa, sehingga dapat mengurangi resiko yang ditimbulkan akibat gempa bumi.

Seismologi akan menjadi ilmu pengetahuan yang tak berarti tanpa adanya *instrument*, perkembangan pengetahuan seismologi yang besar terjadi pada tahun 1900. Utamanya setelah diketemukannya seismograph yang lebih sensitive dan sistem tanda waktu (pewaktuan), sehingga dapat diketahui dimana lokasinya serta kapan terjadinya suatu gempa bumi. Kemampuan untuk melokalisasi *event* gempa bumi dan perhitungan magnitudo membutuhkan dua dasar pengukuran dari *instrument*, yaitu akurasi waktu dan penentuan hubungan frekuensi antara pengukuran dan gerakan tanah.

Accelerograph atau *Strong Motion Seismograph* adalah *instrument* yang digunakan untuk merekam guncangan permukaan

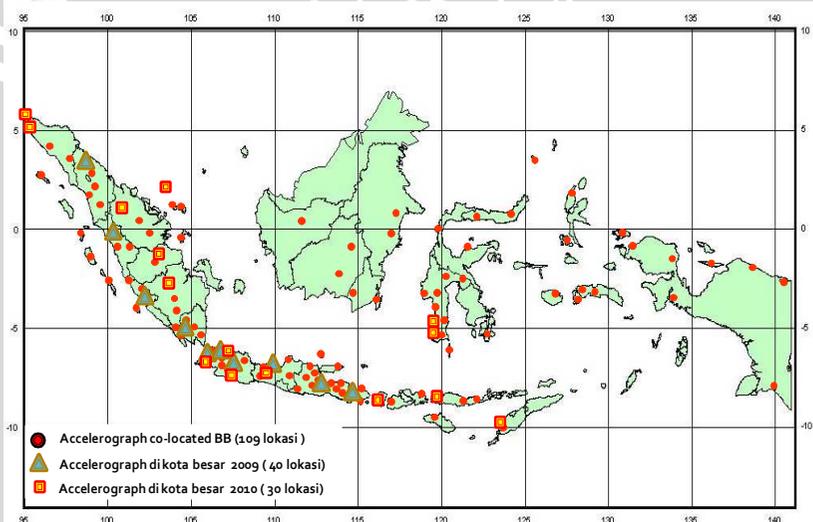
tanah yang sangat kuat atau mengukur percepatan permukaan tanah. Sesimograph yang *sensitive* yang digunakan secara rutin untuk penentuan lokasi *event* gempa bumi akan *off scale* dan bahkan berhenti beroperasi apabila ada guncangan yang sangat kuat, sehingga tidak memberikan informasi data yang bermanfaat selama guncangan yang sangat kuat terjadi. Rekaman *Strong Motion* pada *event* gempa-gempa yang telah terjadi sangatlah bermanfaat untuk para insinyur sipil dalam mendesain bangunan tahan gempa.

Pulau Jawa merupakan wilayah Indonesia yang paling padat penduduknya serta infrastrukturnya. Berdasarkan tatanan seismotektoniknya, Pulau Jawa ini merupakan bagian dari satuan seismotektonik busur sangat aktif dan busur aktif. Guna mewaspadaai bencana gempa bumi di kawasan ini perlu dilakukan suatu kajian mendasar tentang analisa percepatan getaran tanah maksimum, serta menentukan wilayah-wilayah potensi gempa bumi serta bahaya yang ditimbulkan.

Jawa Timur adalah sebuah provinsi di bagian timur Pulau Jawa, Indonesia. Luas wilayahnya adalah 47.922 km², dan jumlah penduduknya 37.070.731 jiwa (2005). Provinsi ini memiliki wilayah terluas di antara 6 provinsi di pulau jawa, dan memiliki jumlah penduduk terbanyak kedua di Indonesia setelah Jawa Barat. Padatnya penduduk serta kondisi infrastruktur yang terus meningkat menjadikan Jawa Timur memiliki kerentanan yang cukup tinggi terhadap bencana gempa bumi. Terlebih letaknya yang relatif dekat dengan zona tumbukan antara lempeng Indo Australia dan Eurasia dibagian selatan. Oleh karena itu penulis merasa perlu melakukan penelitian tentang percepatan tanah maksimum di daerah Jawa Timur.

Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat akibat getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu. Percepatan getaran tanah maksimum merupakan salah satu parameter yang sering digunakan dalam mengestimasi tingkat kerusakan tanah akibat guncangan gempa. Percepatan tanah di suatu daerah dapat diukur langsung dengan *accelerograph* atau *strongmotion seismograph* yang dipasang pada tempat tersebut atau dengan pendekatan formula empiris. Terbatasnya peralatan jaringan *accelerograph* yang tidak lengkap dari segi periode waktu maupun tempatnya menyebabkan penentuan

nilai percepatan getaran tanah maksimum lebih banyak menggunakan pendekatan formula empiris. Keberadaan jaringan stasiun *accelerograph* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang baru terpasang sekitar tahun 2007 memiliki banyak keterbatasan dalam hal ketersediaan data terutama data kejadian gempa-gempa besar. Sehingga data percepatan tanah aktual yang ada masih belum mampu merepresentasikan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di daerah Jawa Timur. Oleh karena itu penggunaan rumusan atenuasi empiris dalam penentuan nilai PGA tidak dapat dihindari. Sampai tahun 2010, BMKG telah mengoperasikan *accelerograph* sekitar 180 (seratus delapan puluh) unit di seluruh wilayah Indonesia seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. di bawah ini



Gambar 1.1. Jaringan *Accelerograph* BMKG terpasang 180 lokasi (Sumber BMKG 2011)

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang dihadapi adalah :

1. Bagaimana menentukan rumusan empiris percepatan tanah yang paling sesuai untuk daerah Jawa Timur mengingat

terbatasnya peralatan *accelerograph* sehingga data aktual yang ada kurang mampu merepresentasikan nilai PGA.

2. Bagaimana pola sebaran nilai PGA di Jawa Timur

1.3 Batasan Penelitian

Perhitungan nilai PGA pada penelitian ini hanya dibatasi untuk daerah Jawa Timur. Data yang kami proses merupakan data primer yang berupa data hasil pembacaan *accelerogram* dari stasiun-stasiun *accelerograph* di Jawa Timur serta data sekunder yaitu berupa data gempa bumi historis daerah Jawa Timur selama 40 tahun, yaitu tahun 1970 hingga tahun 2010. Masalah yang dibahas pada tugas akhir kali ini adalah pemilihan rumusan terbaik setelah dibandingkan dengan data percepatan tanah aktual yang ada. Selain itu hubungan antara nilai PGA dengan geologi wilayah penelitian tidak kami ulas lebih lanjut.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian analisis PGA ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui rumusan atenuasi empiris percepatan tanah daerah Jawa Timur yang paling sesuai dengan data percepatan tanah aktual.
2. Untuk mengetahui pola sebaran nilai PGA di Jawa Timur.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang metode yang paling sesuai untuk menentukan nilai PGA sehingga dapat memetakan dengan baik tingkat kerentanan daerah Jawa Timur terhadap bahaya gempa bumi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Lempeng Tektonik dan Patahan

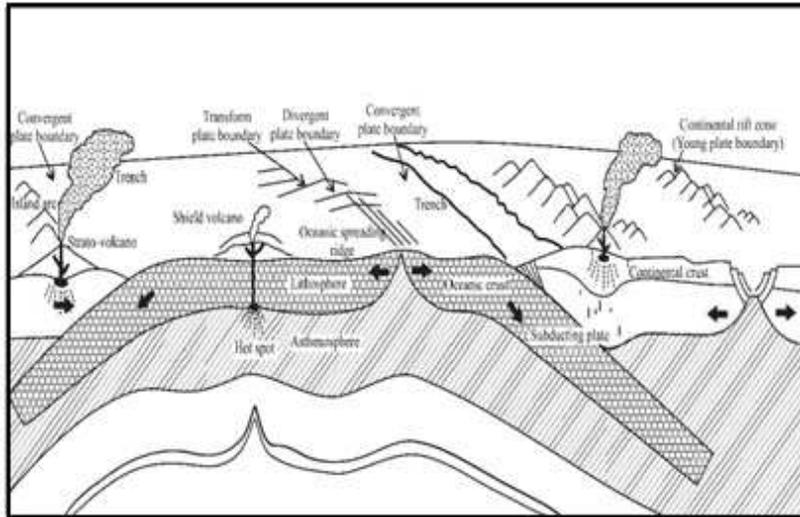
Lempeng tektonik merupakan bagian lapisan terluar bumi yang memiliki ketebalan sekitar 100 km dan memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan yang lebih dalam. Lapisan ini selalu bergerak yang dinyatakan dalam teori apungan benua (*continental drift*) atau juga dikenal dengan teori lempeng tektonik (*plate tectonic*). Pergerakannya adalah sekitar 1 hingga 10 cm/tahun (Elnashai, 2008). Di satu sisi lempeng akan saling bertumbukan sehingga menimbulkan penunjaman atau penumbukan yang dikenal dengan zona subduksi dan di sisi lainnya akan terjadi pemisahan sebuah lempeng yang dikenal dengan *rifting*. Gambaran ini tampak pada Gambar 2.1.

Daerah subduksi merupakan daerah yang tidak stabil pada lempeng tektonik. Tumbukan antara dua lempeng atau lebih akan memiliki energi yang sangat besar. Tumbukan terjadi cukup lamban sehingga energi yang terakumulasi menjadi sangat besar. Ketika titik elastisitas telah terlampaui maka akan terjadi pelepasan energi melalui terjadinya patahan atau *fault*. Patahan ini adalah sebab utama terjadinya gempa bumi sehingga daerah-daerah pertemuan lempeng atau zona subduksi akan menjadi daerah paling potensial terjadinya gempa bumi.

Daerah pertemuan antar lempeng, yang juga disebut zona subduksi, saling sambung-menyambung membentuk sabuk api yang mengelilingi dunia. Salah satu sabuk api yang paling penting adalah *circum-pacific belt* yang berada pada daerah dengan penduduk terpadat di dunia seperti Indonesia, Jepang, dan juga bagian barat Amerika sehingga memberikan kontribusi dampak bencana yang sangat besar. Tercatat lebih dari 80% episenter gempa bumi yang terjadi di dunia berada pada sabuk pasifik ini. Sabuk api ini terkenal dengan nama *pacific ring of fire* karena bentuknya menyerupai cincin. *Alpide belt* merupakan sabuk kedua yang sangat penting. Sekitar 15 % dari gempa bumi terjadi di daerah ini (Stein, S. and Wysession, 2003).

Patahan adalah retakan yang terjadi pada kulit bumi karena adanya pergerakan dua sisi daerah yang berlawanan (Rogers and

Adams,1966). Pada patahan, kedua bagian yang mengalami retakan bergerak satu terhadap yang lain. Ukuran patahan bisa hanya beberapa meter hingga ribuan kilometer. Pergerakan lempeng bumi adalah penyebab utama terjadinya patahan dengan skala yang cukup besar.



Gambar 2.1. Proses Plate Tektonik (Anonymous, 2011)

Pembagian jenis patahan dapat dibedakan berdasarkan pada arah pergerakan bidang patahan, pergerakan relatif antara *hanging wall* dan *foot wall* dan juga letak patahan yang berhubungan dengan bentuk patahan. Jika pembagian patahan didasarkan berdasarkan arah *slip* sepanjang bidang patahan maka terdapat tiga jenis patahan yaitu *dip-slip*, *strike-slip* dan *oblique-slip*. Pada *dip-slip*, bidang gelincir dari patahan terjadi pada sudut *dip* patahan. Pada *strike-slip* bidang gelincir terletak sepanjang *strike* sedangkan pada *oblique-slip* pergerakan terjadi secara diagonal terhadap bidang patahan.

2.2 Teori Gelombang

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah proses manual atau non manual akan menjadi data. Informasi seismik

selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter gempa bumi tersebut meliputi :

2.2.1 Waktu terjadinya gempa bumi (*Origin Time*).

Waktu terjadinya gempa bumi adalah menunjukkan waktu saat terlepasnya akumulasi regangan (*starin*) yang berbentuk penjalaran gelombang gempa bumi dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*).

$$OT = RP - (P - H) \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan *OT* adalah waktu terjadinya gempa, *RP* adalah pembacaan waktu gelombang *P* pada stasiun dan *P - H* adalah nilai tabel Jeffreys-Bullent .

2.2.2 Episenter.

Episenter (Gambar 2.2) merupakan pusat gempa di permukaan bumi sebagai proyeksi dari fokus gempa di dalam bumi. Jarak episenter gempa bumi menggunakan data *S-P* (selisih waktu datang gelombang *S* dengan waktu datang gelombang *P*). Sedangkan lokasi episenter dinyatakan dalam koordinat geografis (derajat lintang dan bujur). Untuk menentukan letak titik episenter digunakan persamaan berikut:

Untuk Lintang

$$L_{episenter} = \left(\frac{i(NS)}{i} \right) (\Delta) (L_{stasiun}) \dots\dots\dots(2.2)$$

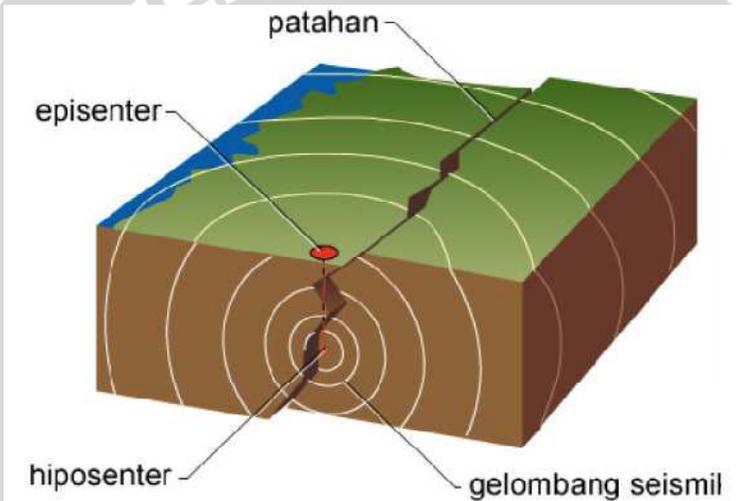
Untuk Bujur

$$B_{episenter} = \left(\frac{i(EW)}{i} \right) (\Delta) (B_{stasiun}) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan $L_{episenter}$ adalah titik lintang episenter, $B_{episenter}$ adalah titik bujur episenter, $i(NS)$ i adalah setengah amplitudo gelombang

pertama dari gelombang P (primer) pada komponen N (utara) atau S (selatan), $i(EW)$ adalah setengah amplitudo gelombang pertama dari gelombang P pada komponen E (timur) atau W (barat), Δ adalah derajat yang ditentukan dari nilai tabel Jeffreys-Bullent, $L_{stasiun}$ adalah titik lintang stasiun, $B_{stasiun}$ adalah titik bujur stasiun, sedangkan i (resultan impuls) didapat dari persamaan :

$$i = \sqrt{i(NS)^2 + (i(EW))^2} \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 2.2 Parameter gelombang seismik (Anonymous, 2010)

2.2.3 Hiposentier

Hiposentier disebut juga kedalaman gempa. Penentuan kedalaman sumber gempa dari permukaan bumi ditentukan dari pembacaan pias seismogram setengah amplitudo maksimum dari gelombang P pada komponen vertikal. Hiposentier dinyatakan sebagai jarak kedalaman dalam satuan km ($1^0 = 111$ km).

2.2.4 Magnitudo

Magnitudo adalah ukuran untuk menyatakan kekuatan gempa bumi berdasarkan energi yang dipancarkan pada saat terjadinya gempa bumi dan dinyatakan dalam skala Richter. Magnitudo pertama kali dihitung oleh Richter pada tahun 1935 untuk gempa lokal di California dengan alat *Standart Wood Anderson* yang memperhitungkan nilai pergerakan tanah yang terletak pada jarak tertentu pada pusat gempa. Magnitudo gempa dapat dibedakan atas:

a. Magnitudo Lokal (M_l)

Magnitudo lokal pertama kali diperkenalkan oleh Richter pada tahun 1935 (Mccalpin JP.) berdasarkan pengamatan gempa bumi di California Selatan yang direkam menggunakan seismograf Wood-Anderson. Secara umum Magnitudo lokal dirumuskan:

$$M_l = \log A + 3 \log \Delta - 2.92 \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan M_l adalah magnitudo lokal, A adalah amplitudo maksimum getaran tanah (μm) dan Δ adalah jarak episenter dengan stasiun pengamat (km), $\Delta < 600$ km.

b. Magnitudo Bodi (M_b)

Magnitudo bodi berdasarkan amplitudo gelombang P yang menjaral melalui bagian dalam bumi. Magnitudo ini digunakan untuk menghitung kekuatan gempa-gempa dalam yaitu:

$$M_b = \log \left(\frac{A}{T} \right) + f(\Delta, h) + c \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan M_b adalah magnitudo bodi, A adalah amplitudo gelombang P (μm), T adalah periode (sekon), $f(\Delta, h)$ adalah fungsi jarak dan kedalaman dan c adalah koreksi stasiun.

c. Magnitudo Permukaan (M_s)

Magnitudo permukaan berdasarkan amplitudo gelombang permukaan. Magnitudo ini digunakan untuk menghitung kekuatan gempa dengan jarak lebih dari 600 km, periode 20 sekon, dan gempa dangkal ($h < 60$ km) dirumuskan:

$$M_s = \log A + \alpha \log \Delta + \beta \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan M_s adalah magnitudo permukaan, A adalah amplitudo maksimum (μm), Δ adalah jarak episenter (km) dan α, β adalah konstanta.

d. Magnitudo Momen (M_w)

Magnitudo momen merupakan magnitudo berdasarkan harga momen seismik. Momen seismik adalah dimensi pergeseran bidang sesar atau dari analisis gelombang pada *broadband* seismograf. Magnitudo ini dirumuskan:

$$M_w = \frac{\log M_o}{1.5} - 10.73 \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan M_w adalah magnitudo momen dan M_o adalah momen seismik.

e. Magnitudo Durasi (M_d)

Magnitudo durasi merupakan jenis magnitudo berdasarkan lamanya getaran gempa. Magnitudo ini berguna dalam kasus amplitudo getaran sangat besar (*off scale*) yang dirumuskan:

$$M_d = a \log \tau + b \Delta + c \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan M_d adalah magnitudo durasi, τ adalah lamanya getaran (sekon), Δ adalah jarak hiposenter (km), a, b, c adalah konstanta.

Data-data kejadian gempa yang dikumpulkan dari berbagai sumber umumnya menggunakan skala magnitudo yang berbeda-beda. Skala magnitudo yang digunakan antara lain adalah *surface wave magnitude (ms)*, *Local Magnitude (ML)*, *body wave magnitude*

(*mb*) dan *moment magnitude* (*M_w*). Skala-skala magnitudo tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitudo yang sama sebelum digunakan dalam analisis resiko gempa. Terdapat beberapa usulan formulasi atau persamaan konversi skala magnitudo yang diusulkan peneliti seperti (Purcaru dan Berckhemer, 1978), (Tatcher dan Hanks, 1973), dimana rumus-rumus tersebut dibuat dengan menggunakan analisis regresi. Selain itu, (Idriss, 1985) telah membuat grafik korelasi hubungan antara *M_w* dengan *ML*, *MS*, *mb*, dan *MJMA*. Analisis konversi pada studi ini menggunakan data-data gempa (katalog gempa) wilayah Indonesia yang dikumpulkan dari berbagai sumber diatas.

Data-data gempa (katalog gempa) untuk wilayah Indonesia telah dilakukan suatu penelitian dengan menggunakan analisis regresi yang dilakukan oleh Tim Revisi Peta Gempa (2010) didapatkan rumusan korelasi konversi *magnitude* untuk wilayah Indonesia seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Korelasi konversi antara beberapa skala *magnitude* untuk wilayah Indonesia.

Korelasi Konversi	Jml Data (<i>Events</i>)	Range Data	Kesesuaian (<i>R</i> ²)
$M_w = 0.143M_s^2 - 1.051M_s + 7.285$	3.173	$4.5 \leq M_s \leq 8.6$	93.9%
$M_w = 0.114m_b^2 - 0.556m_b + 5.560$	978	$4.9 \leq m_b \leq 8.2$	72.0%
$M_w = 0.787M_E + 1.537$	154	$5.2 \leq M_E \leq 7.3$	71.2%
$m_b = 0.125M_L^2 - 0.389x + 3.513$	722	$3.0 \leq M_L \leq 6.2$	56.1%
$M_L = 0.717M_D + 1.003$	382	$3.0 \leq M_D \leq 5.8$	29.1%

2.3 Intensitas

Tingkat kerusakan akibat gempa bumi dapat diukur berdasarkan intensitasnya. Intensitas gempa bumi adalah skala kekuatan gempa bumi berdasarkan hasil pengamatan efek gempa bumi terhadap manusia, struktur bangunan, dan lingkungan pada tempat tertentu.

Parameter ini dinyatakan dengan skala intensitas yang umumnya dalam MMI.

Intensitas merupakan hasil pengamatan visual pada suatu tempat, sedangkan magnitudo adalah hasil pengamatan instrumental menggunakan *seismograph*. Terdapat beberapa skala pengukuran intensitas, diantaranya adalah skala intensitas *Modified Mercalli Intensity* (MMI) yang diakui sebagai standar internasional. Besarnya intensitas sangat tergantung dari besarnya magnitudo, jarak dari sumber gempa, kondisi geologi, dan struktur bangunannya. Intensitas tinggi biasanya terjadi pada daerah yang dekat dengan sumber gempa dibandingkan tempat yang jauh dari sumber gempa. Tingkat intensitas gempa bumi dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut .

Tabel 2.2. Magnitudo, efek karakteristik, frekuensi dan skala MMI gempa bumi .Skinner dan Porter (1992:418)

Magnitudo (skala Richter)	Efek karakteristik guncangan skala pada daerah berpenduduk	Jumlah per tahun	Skala Intensitas Modified mercalli (MMI)
< 3.4	Hanya terekam oleh seismograf	800.000	I
3.5 - 4.2	Dirasakan oleh beberapa orang	30.000	II dan III
4.3 - 4.8	Dirasakan oleh banyak orang	4.800	IV
4.9 - 5.4	Dirasakan oleh setiap orang	1.400	V
5.5 - 6.1	Kerusakan bangunan kecil	500	VI dan VII
6.2 - 6.9	Kerusakan banyak bangunan	100	VIII dan IX
7.0 - 7.3	Kerusakan serius, jembatan - jem,batan terpuntir, tembok - tembok retak	15	X

7.4 - 7.9	Kerusakan besar, bangunan - bangunan ambruk	4	XI
> 8.0	Kerusakan total, gelombang - gelombang terasa di permukaan tanah, berda - benda terlempar	Satu kali dalam 5 - 10 Tahun	XII

2.4 Percepatan Tanah Maksimum

Perpindahan materi biasa disebut *displacement*. Jika kita tinjau waktu yang diperlukan untuk perpindahan tersebut, maka kita dapat menganalisis kecepatan materi tersebut. Sedangkan percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Pada bangunan yang berdiri di atas tanah memerlukan kestabilan tanah, agar bangunan tetap stabil. Percepatan gelombang gempa yang sampai di permukaan bumi disebut juga percepatan tanah, merupakan gangguan yang perlu dikaji untuk setiap gempa bumi, kemudian dipilih (PGA) untuk dipetakan agar bisa memberikan gambaran tentang efek paling parah yang pernah dialami suatu lokasi.

Efek primer gempa bumi adalah kerusakan struktur bangunan baik yang berupa gedung perumahan rakyat, gedung bertingkat, fasilitas umum, monumen, jembatan dan infrastruktur struktur lainnya, yang diakibatkan oleh getaran yang ditimbulkannya. Secara garis besar, tingkat kerusakan yang mungkin terjadi tergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik lokasi bangunan, dan percepatan tanah di lokasi bangunan akibat dari getaran suatu gempa bumi. Faktor yang merupakan sumber kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah. Sehingga data PGA akibat getaran gempa bumi pada suatu lokasi menjadi penting untuk menggambarkan tingkat resiko gempa bumi di suatu lokasi tertentu. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, semakin besar resiko gempa bumi yang mungkin terjadi.

Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung dengan seismograph khusus yang disebut *strong motion seismograph* atau *accelerograph*. Namun karena begitu pentingnya nilai percepatan tanah dalam menghitung koefisien seismik untuk bangunan tahan

gempa, sedangkan jaringan Accelerograph tidak lengkap baik dari segi periode waktu maupun tempatnya, maka perhitungan empiris sangat perlu dibuat. Oleh sebab itu untuk keperluan bangunan tahan gempa harga percepatan tanah dapat dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempa bumi.

Pengukuran percepatan tanah dengan cara empiris dapat dilakukan dengan pendekatan dari beberapa rumus yang diturunkan dari magnitudo gempa atau data intensitas. Perumusan ini tidak selalu benar, bahkan dari satu metode ke metode lainnya tidak selalu sama, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA).

2.5 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan prediksi hubungan empiris untuk parameter gempa yang melemah sejalan dengan bertambahnya jarak, seperti percepatan puncak, yang mendeskripsikan parameter gerakan tanah. Banyak persamaan atenuasi yang diusulkan dan dikembangkan oleh para peneliti, antara lain Fukushima dan Tanaka, Crouse, Boore, Joyner, dan Fumal, Youngs et.al, dan lain sebagainya.

Dengan tidak tersedianya data untuk menurunkan suatu fungsi atenuasi di Indonesia, maka digunakan fungsi atenuasi dari wilayah lain yang memiliki kemiripan kondisi geologi dan tektonik dengan Indonesia. Fungsi atenuasi yang digunakan sebagian besar sudah menggunakan *Next Generation Attenuation*(NGA), dimana fungsi atenuasi ini dalam pembuatannya sudah menggunakan data gempa global (*worldwide data*).

Fungsi atenuasi untuk gempa dengan mekanisme subduksi yang dikembangkan oleh R.R Youngs et al.,(1997). Berikut beberapa fungsi atenuasi yang digunakan dalam perhitungan percepatan tanah.

2.5.1 Kawashumi

Perhitungan PGA Menurut Kawashumi, pada pers. (2.10) untuk dapat mengetahui nilai percepatan tanahnya dengan cara mengganti log kan pers. 2.10 tersebut.

$$\log a = M - 5.45 - 0.00084(\Delta - 100) + \log\left(\frac{10}{\Delta}\right)\left(\frac{1}{0.4342}\right) \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

- M = Magnitudo gempa
- Δ = Jarak Hiposenter (km)
- a = percepatan tanah dalam gal.

Penggunaan rumus Kawashumi praktis, karena hubungan antara percepatan permukaan setempat (*a*) dan magnitudo (*M*) hanya merupakan fungsi dari jarak hiposenter (Δ). Hal terpenting adalah, akibat yang ditimbulkan oleh gempa tidak sama untuk setiap tempat, karena adanya faktor geometri dan struktur tanah. Untuk daerah dengan struktur tanah yang lembek (periode dominan besar dan faktor pembesaran besar), akibat yang ditimbulkan semakin besar pula dibanding dengan struktur tanah yang keras.

2.5.2 Guttenberg – Richter

Guttenberg-Richter, dalam perumusan atenuasinya menyajikan data tambahan revisi yang memiliki intensitas dan percepatan yang kecil (Gutenberg and Richter, 1942), sehingga dipertahankan fungsi atenuasi sebagai berikut :

$$\log a = \frac{I}{3} - 0.5 \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

- a = Percepatan tanah pada tempat yang dicari (gal)
- I = Intensitas (MMI)

Untuk menghitung percepatan pada pers. (2.11), perlu mengetahui besarnya intensitas *I* pada tempat yang akan dicari. Untuk itu dapat dicari dengan menggunakan rumus pendekatan hubungan atenuasi intensitas terhadap jarak. Prih Haryadi dan Subardjo telah menghitung rumus atenuasi intensitas terhadap jarak gempa Flores 12 Desember 1992 dengan formula sebagai berikut :

$$I = I_0 \exp^{-0.0021 \Delta} \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana :

- I = Intensitas pada jarak episenter Δ km dari I_0
- I_0 = Intensitas pada sumber

2.5.3 Fukushima

Dalam perhitungan percepatan tanah, penulis juga menggunakan fungsi atenuasi Fukushima pers. (2.13). Fungsi atenuasi ini dikembangkan untuk percepatan maksimum horizontal yang berlaku pada sumber gempa di sekitar Jepang. Data yang digunakan pada saat itu adalah terdiri dari 1372 komponen percepatan tanah maksimum horozontal dari 28 gempa yang terjadi di Jepang dan 15 gempa yang terjadi di Amerika serta di negara lain. Model atenuasi yang digunakan untuk menghitung bagaimana penyebaran geometrik dari gelombang gempa.

$$\log A = aM - \log(R + c 10^{aM}) - bR + d \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana :

- A = Percepatan tanah maksimum (cm/s^2)
- M = Magnitudo gelombang
- R = Jarak episenter ke titik referensi (km)
- a = 0.41
- b = 0.0034
- c = 0.032
- d = 1.30
- α = 0.21

Beberapa peneliti dari Indonesia menganjurkan penggunaan persamaan ini untuk patahan (*fault*) permukaan yang ada di Sumatera dan Jawa.

2.5.4 Murphy – O’Brien

Suatu penelitian perhitungan atenuasi Murphy – O’Brien pers. (2.14) pernah dilakukan untuk data gempa di Eropa Selatan. Yang menunjukkan puncak percepatan horisontal tetap pada nilai-nilai intensitas, magnitudo dan jarak episenter dua kali lebih tinggi dari

nilai yang sesuai untuk negara atau wilayah Amerika Serikat Barat dan Jepang.

$$\log a = 0.14I + 0.24M - 0.68(\log R + 0.7) \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

- a = Peak Ground Acceleration
- I = Intensitas standard MMI
- M = Magnitudo gempa bumi
- R = jarak antara lokasi dengan sumber gempa bumi

2.5.5 Esteva

Perhitungan PGA Menurut Esteva, pada pers. (2.15) adalah sebagai berikut :

$$a = 5600 \frac{\exp(0.5M)}{(r + 40)^2} \dots\dots\dots(2.15)$$

dimna :

- a = Percepatan tanah pada tempat yang akan dicari
- M = Magnitudo
- r = Jarak hiposenter dalam satuan km

Hasil dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Esteva, perhitungan atenuasi diatas sangat cocok untuk jenis tanah liat (Esteva, 1970).

2.5.6 Donovan

Perhitungan percepatan tanah menurut Donovan, yang dinyatakan pada pers. (2.16). Persamaan tersebut telah digunakan untuk kejadian gempa yang pernah terjadi di Timur, barat, dan di utara America. Magnitudo dan jarak bukan variabel terikat yang saling berhubungan. Dalam persamamaan atenuasinya pada pers. (2.16) Donovan mengadaptasi dari persamaan Esteva (esteva, 1970).

$$a = 1080 \frac{\exp(0.5M)}{(r + 25)^{1.32}} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana :

- a = Percepatan tanah pada tempat yang akan dicari
- M = Magnitudo
- r = Jarak hiposenter dalam satuan km

2.5.7 Mc. Guire

Perhitungan percepatan tanah menurut Mc. Guire, yang dinyatakan pada pers. (2.17). dapat di manfaatkan pada perhitungan PGA untuk Kriteria sebagai berikut (Mc. Guire, 1978) ;

Untuk batuan (*rock*): batuan sedimen atau batuan dasar atau tanah yang ketebalannya kurang dari tebal 10m.

Untuk tanah (*Soil*): aluvium atau lebih lembut lainnya dan memiliki ketebalan lebih besar dari 10m.

Berikut dibawah ini adalah persamaan atenuasi dari Mc. Guire.

$$a = \frac{472.3 \times 10^{0.278M}}{(R + 25)^{1.301}} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

- a = Percepatan tanah (gal)
- M = Magnitudo gelombang permukaan
- R = Jarak hiposenter (km)

2.5.8 Atenuasi Youngs et al.,(1997)

Youngs et al.,(1997) mengusulkan suatu fungsi atenuasi yang dikembangkan berdasarkan data gempa dengan mekanisme subduksi. Model untuk atenuasi subduksi umumnya dibagi menjadi dua yakni: gempa pada zona *megathrust (interface)* dan zona *Benioff (interslab)*. Bentuk fungsi atenuasi tersebut sebagai berikut:

Untuk batuan (*rock*):

$$\ln(\text{PGA}) = 0.2418 + 1.414Mw - 2.552 \ln [r_{rup} + 1.7818 e^{0.554Mw}] + 0.00607H + 0.3846Zt \dots\dots\dots(2.18)$$

Untuk tanah (*Soil*):

$$\ln(\text{PGA}) = -0.6687 + 1.438M_w - 2.329 \ln [r_{rup} + 1.097 e^{0.617M_w}] + 0.00648H + 0,3643Z_t \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana :

- PGA = *peak ground acceleration* (g)
- M_w = *magnitudo momen*
- r_{rup} = *jarak terdekat ke rupture* (km)
- H = *kedalaman* (km)
- Z_t = *tipe sumber gempa* (0 untuk *interface* dan 1 untuk *intraslab*)

2.6 Root Mean Square Error

Salah satu metode yang digunakan di dalam mencari nilai perbandingan adalah dengan menentukan besar penyimpangan antara hasil perhitungan dengan hasil observasi (*Accelerograph*). Sehingga rumus statistik yang berperan dalam hal ini adalah rumus statistik *root mean square error* (RMSE). Semakin kecil nilai *root mean square error* (RMSE) nya, maka perhitungan tersebut dapat dikatakan mendekati kebenaran relatif. Adapun rumus RMSE ini adalah sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (ti\ cal - ti\ obs)^2} \dots \dots \dots (2.20)$$

dimana :

- RMSE = *Root Mean Square Error*
- ti cal = *Jumlah data*
- ti obs = *Data perhitungan*

2.7 Sejarah Gempa di Jawa Timur

Jika mengacu pada sejarah gempa di Jawa Timur yang disebutkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, propinsi ini juga merupakan wilayah yang menjadi langganan gempa dengan jarak waktu yang berbeda-beda, dari tujuh tahun hingga belasan tahun. Dari belasan gempa yang terjadi selama dua abad, Jawa Timur juga mengalami gempa besar, beberapa kali bahkan menimbulkan tsunami sehingga memakan korban dalam bilangan tak sedikit. Yang mana pernah terjadi di Trenggalek dan Banyuwangi. Misalnya, gempa yang terjadi di Blitar-Trenggalek pada 37 tahun lalu, tepatnya pada 4 Oktober 1972 dengan kekuatan 6 skala Richter dan skala intensitas gempa sebesar V-VI MMI. Gempa ini menimbulkan kerusakan sejumlah bangunan di Gandusari & Trenggalek. Guncangan terasa kuat sehingga mengakibatkan 250 orang meninggal, 127 orang hilang, 423 luka, 1.500 rumah rusak, 278 perahu rusak dan hilang. Gempa ini juga menimbulkan terjangan tsunami dengan ketinggian gelombang belasan meter dan terjangan ombak hingga mencapai 500 meter dari pantai.

Berikut sejarah gempa bumi di Jawa Timur yang dikutip *VIVAnews* dari Pusat Vulkanologi Departemen Energi. :

1. 22/03/1836
Gempa terjadi di Mojokerto. Tidak diketahui berapa kekuatan gempa tersebut, namun skala intensitas dampak gempa mencapai VII-VIII MMI. Akibat gempa ini terjadi kerusakan pada bangunan.
2. 20/11/1862
Gempa terjadi di Madiun dengan skala intensitas gempa mencapai VII MMI. Akibat gempa ini sejumlah bangunan retak.
3. 15/08/1896
Gempa terjadi di Wlingi dengan skala intensitas gempa mencapai VII MMI. Gempa terasa sampai Brangah. Kerusakan pada bangunan dan rumah penduduk.
4. 20/08/1902
Gempa terjadi di Tulungagung dengan skala intensitas gempa mencapai VII MMI. Akibat gempa terjadi kerusakan pada bangunan.

5. 11/08/1939
Gempa terjadi di Jawa Timur dengan skala intensitas VII MMI. Getaran gempa terasa hingga Rembang, Jawa Tengah. Sebuah rumah roboh di Brondong.
6. 19/06/1950
Gempa terjadi di Jawa Timur dengan skala intensitas gempa mencapai VI MMI. Beberapa bangunan retak. Getaran terasa sampai Kalimantan dan Jawa Barat.
7. 20/11/1958
Gempa terjadi di Malang dengan skala intensitas gempa mencapai VII-VIII MMI. Akibat gempa terjadi retakan pada bangunan, tanah, dan 8 orang tewas.
8. 19/2/1967
Gempa terjadi di Malang dengan skala intensitas gempa sebesar VII – IX MMI. Kerusakan terparah terjadi di Dampit, 1.539 rumah rusak, 14 orang tewas, 72 orang luka-luka. Di Gondanglegi 9 orang tewas, 49 orang luka-luka, 119 bangunan roboh, 402 retak, 5 masjid rusak. Di Trenggalek 33 rumah bambu retak. Getaran gempa terasa hingga Banyumas dan Cilacap di Jawa Tengah.
9. 4/10/1972
Gempa terjadi di Blitar-Trenggalek dengan kekuatan 6 skala Richter dan skala intensitas gempa sebesar V-VI MMI. Akibatnya, terjadi kerusakan sejumlah bangunan di Gandusari & Trenggalek. Guncangan terasa kuat sehingga mengakibatkan 250 orang meninggal, 127 orang hilang, 423 luka, 1.500 rumah rusak, 278 perahu rusak dan hilang. Gempa ini juga menimbulkan terjangan tsunami dengan ketinggian gelombang belasan meter dan terjangan gelombang hingga mencapai 500 meter dari pantai.
10. 3/6/1994
Gempa terjadi di Banyuwangi dengan kekuatan gempa mencapai 7 skala Richter dan skala intensitas gempa VIII MMI. Akibat gempa menimbulkan bencana di Rajegwesi, Gerangan, Lampon, Pancer, Pulau Sempu, Grajagan, Pulau Merah, Teluk Hijau, Sukamade, Watu Ulo, Teluk Sipelori dan Teluk Tambakan. Efek tsunami mencapai pantai Banyuwangi, Jember, Malang, Blitar, Tulung Agung, Trenggalek & Pacitan.

11. 20/7/2003

Gempa terjadi di Pacitan dengan kekuatan 5,9 skala Richter. Akibatnya terjadi kerusakan pada sejumlah bangunan dan plester dinding lepas di rumah dinas Polres Pacitan, 4 rumah di desa Pucang Sewu, 1 rumah di desa Sambong, 1 rumah di desa Ponggok, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan; 1 rumah di desa Wonocoyo, Kecamatan Panggul, Kabupaten Trenggalek; pasar Madiun dan sebuah Ruko di kota Yogyakarta. Getaran terasa di Pacitan, Trenggalek, Madiun, Surakarta, Yogyakarta hingga Surabaya. Terjadi gempa bumi susulan.

Data historis di atas (Vivanews, 2010) menunjukkan bahwa wilayah Jawa Timur adalah wilayah yang rawan akan bencana gempa bumi.



BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan penelitian yang berjudul Analisis dan Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum Daerah Jawa Timur ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai November 2011 bertempat di Stasiun geofisika kelas II Tretes Pasuruan Jawa Timur.

3.2 Data

Data yang digunakan pada penulisan tugas akhir kali ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer adalah berupa data percepatan tanah dari 8 buah peristiwa gempa bumi yang terjadi di daerah Jawa Timur dan sekitarnya. Nilai percepatan tanah aktual diperoleh dengan melakukan pembacaan amplitudo maksimum *waveform accelerogram* yang tercatat pada beberapa buah stasiun *accelerograph* BMKG di Jawa Timur. Data kejadian gempa bumi yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini, sedangkan daftar stasiun *accelerograph* BMKG di Jawa Timur dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 3.1 Daftar gempa bumi yang tercatat di stasiun *accelerograph* BMKG

No.	Tanggal	Lat	Long	Kedalaman	Mb	N Sta	Keterangan
1.	09-08-2007	-6,09	107,6	294 km	6,3	3	Indramayu
2.	03-07-2008	-6,97	105,9	108 km	4,7	3	Ujung Kulon

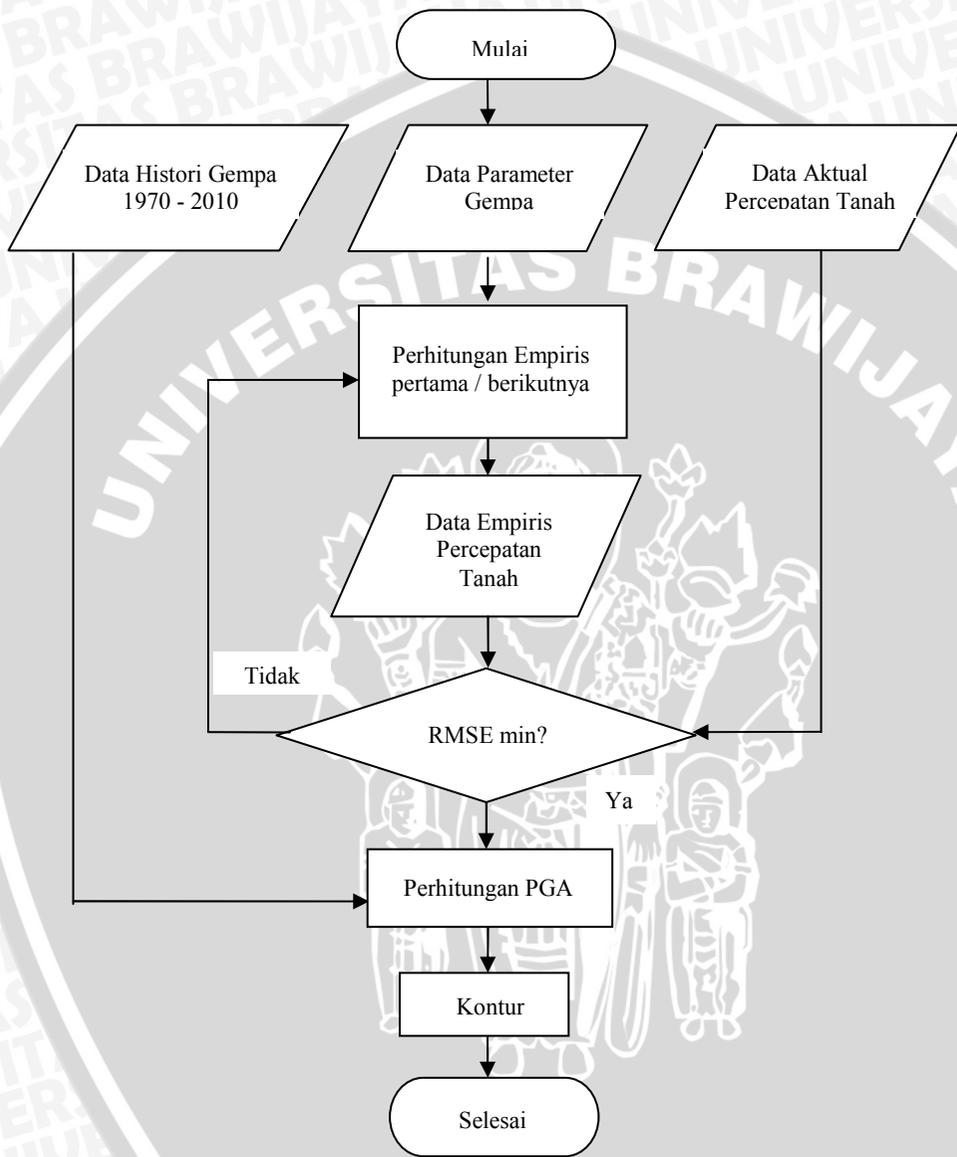
3.	07-07-2008	-8,05	108	75 km	4,3	3	Tasik malaya
4.	09-07-2008	-8,79	112,5	88 km	4,5	10	Blitar
5.	10-07-2008	-9,6	118,8	62 km	4,9	5	Raba NTB
6.	11-07-2008	-9,54	107,6	40 km	4,8	2	Tasik malaya
7.	12-07-2008	-8,85	110,5	81 km	4,2	9	Wono sari
8.	20-07-2008	-8,72	111,3	89 km	5,3	10	<i>Wonogiri</i>

3.2.2 Data Sekunder

Mengingat belum adanya peristiwa gempa besar di daerah Jawa Timur yang tercatat pada stasiun *accelerograph* BMKG sejak terpasang tahun 2007, maka data percepatan tanah aktual yang ada belum mampu merepresentasikan nilai PGA. Sehingga penulis menggunakan data sekunder untuk menentukan nilai PGA tersebut. Data sekunder yang digunakan adalah data historis gempa bumi daerah Jawa Timur dan sekitarnya selama 4 dekade terakhir yaitu mulai tahun 1970 sampai tahun 2010 yang diunduh dari database ISC (*International Seismological Center*) dengan batas koordinat 11° LS – 5° LS dan 108° BT – 115° BT dan magnitudo momen > 5 . Selanjutnya data histori gempa ini akan diolah menggunakan persamaan empiris sebagaimana dijelaskan pada BAB II.

3.3 Pengolahan Data

Diagram alir pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir pengolahan data

3.3.1 Pengumpulan data aktual

Langkah – langkah kerja yang diterapkan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data percepatan tanah hasil pembacaan *accelerogram* dari gempa-gempa yang tercatat pada sekitar 10 stasiun *accelerograph* BMKG di Jawa Timur. Daftar informasi tentang stasiun pencatat di Jawa Timur beserta petanya dapat dilihat pada Lampiran 1.
2. Data yang diperoleh sudah dalam bentuk nilai percepatan tanah dalam satuan *gal* dari 8 kejadian gempa bumi di daerah Jawa Timur dan sekitarnya sebagaimana tercantum pada tabel 3.1 diatas.

3.3.2 Pemilihan fungsi atenuasi

Tahap selanjutnya adalah menentukan rumusan empiris atenuasi yang paling sesuai dengan daerah penelitian. Tahap – tahapnya adalah sebagai berikut.

1. Menghitung jarak episenter gempa terhadap masing - masing stasiun dengan menggunakan rumus segitiga bola.
2. Menghitung jarak hiposenter gempa terhadap masing-masing stasiun dengan menggunakan rumus *phytagoras*.
3. Mengkonversi nilai magnitudo yang terdapat dalam data historis menjadi magnitudo *surface* (M_s) dan magnitudo momen (M_w) agar sesuai dengan rumusan empiris atenuasi.
4. Menghitung nilai percepatan tanah pada setiap stasiun menggunakan rumus atenuasi yaitu *Mc Guirre*, *Guttenberg Richter*, *Donovan*, *Esteva*, *Kawashumi*, *Fukushima*, *Murphy O'Brien* dan *Youngs*.
5. Menentukan nilai *root mean square error* (RMSE) antara data percepatan tanah aktual dengan data percepatan tanah empiris.
6. Melakukan normalisasi nilai RMSE untuk menyeragamkan skala sehingga masing-masing nilai relevan untuk dibandingkan.

7. Rumus atenuasi yang memberikan harga RMSE *ternormalisasi* paling kecil dipilih sebagai rumus atenuasi yang paling sesuai untuk daerah penelitian.

3.3.3 Penentuan percepatan tanah maksimum

Tahap terakhir adalah proses penentuan nilai PGA daerah penelitian dengan menggunakan rumus atenuasi terpilih. Berikut adalah prosesnya.

1. Mengunduh data historis gempa daerah Jawa Timur dari database ISC (*International Seismological Center*) sesuai dengan spesifikasi yang telah disebutkan pada bab 3.2.2.
2. Menyusun kembali data yang diperoleh dengan bantuan *Microsoft excel*.
3. Membuat *grid* pada daerah penelitian dengan interval 0.1° dan batas koordinat $8.5^\circ \text{ LS} - 6.8^\circ \text{ LS}$ dan $110.9^\circ \text{ BT} - 114.5^\circ \text{ BT}$ sehingga diperoleh jumlah *grid* sebanyak 666 titik.
4. Menghitung jarak episenter gempa terhadap masing-masing *grid* dengan menggunakan rumus segitiga bola.
5. Menghitung jarak hiposenter gempa terhadap masing-masing *grid* dengan menggunakan rumus *phytagoras*.
6. Mengkonversi nilai magnitudo yang terdapat dalam data historis menjadi magnitudo momen (M_w) agar sesuai dengan rumusan empiris atenuasi Youngs.
7. Menghitung nilai percepatan tanah pada setiap *grid* daerah penelitian dengan menggunakan rumusan empiris atenuasi Youngs berdasarkan data gempa historis.
8. Menentukan nilai PGA pada masing-masing *grid*. Langkah 3 sampai langkah 8 dikerjakan dengan bantuan *software matlab 7.6.0*.
9. Nilai percepatan tanah maksimum yang diperoleh dikurangkan dengan menggunakan *software surfer 8.0*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

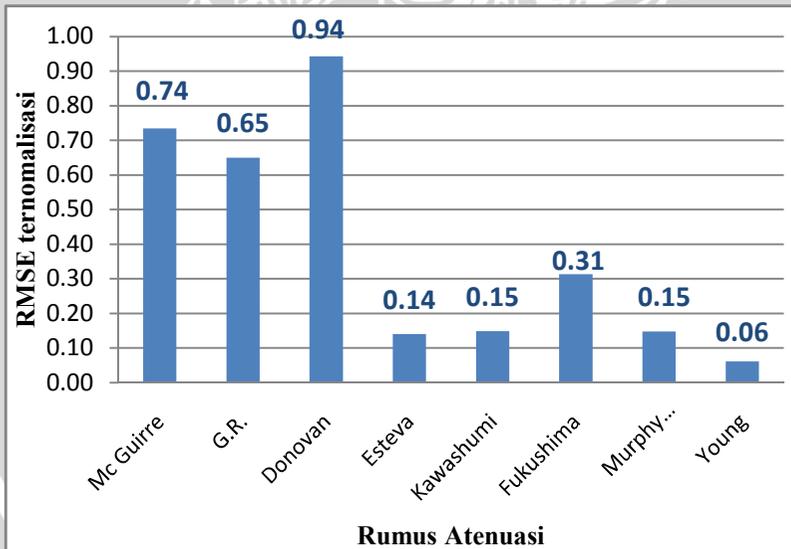
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

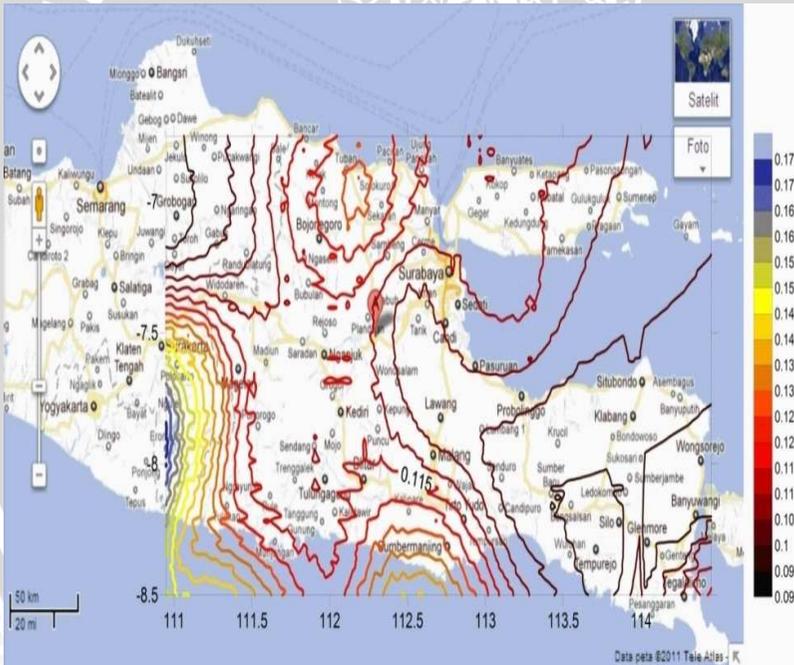
Hasil perhitungan empiris nilai percepatan tanah atas 8 kejadian gempa bumi yang tercatat pada stasiun *Accelerograph* BMKG di Jawa Timur dapat dilihat pada lampiran 1. Data empiris yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data aktual pada masing-masing stasiun dengan cara menentukan nilai *root mean square error* (RMSE). Nilai RMSE menggambarkan sejauh mana penyimpangan data empiris terhadap data aktual. Sebelum dibandingkan, terlebih dahulu dilakukan normalisasi nilai RMSE yang bertujuan untuk menyeragamkan skala sehingga masing-masing nilai relevan untuk dibandingkan. Berikut di bawah ini Gambar.4.1 adalah grafik nilai RMSE ternormalisasi yang menggambarkan tingkat kesesuaian antara data aktual percepatan tanah dengan data empiris menggunakan 8 fungsi atenuasi.



Gambar 4.1 Grafik RMSE ternormalisasi masing-masing fungsi atenuasi

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa fungsi atenuasi Mc Guirre, Guttenberg Richter dan Donovan memiliki nilai RMSE yang cukup tinggi. Sedangkan nilai yang relatif rendah terdapat pada fungsi atenuasi Esteva, Kawashumi, Fukushima, Murphy O Brien dan Youngs. Namun diantara semua, fungsi atenuasi Youngs memiliki harga paling rendah. Sehingga penulis memilih fungsi atenuasi tersebut untuk diterapkan pada proses penentuan nilai PGA daerah Jawa Timur. Perhitungan dilakukan menggunakan prosedur sebagaimana telah dijelaskan pada bab tiga diatas.

Berikut Gambar.4.2 adalah kontur nilai percepatan tanah maksimum daerah Jawa Timur berdasarkan data historis gempa bumi 4 dekade terakhir, adapun contoh dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel. 4.1

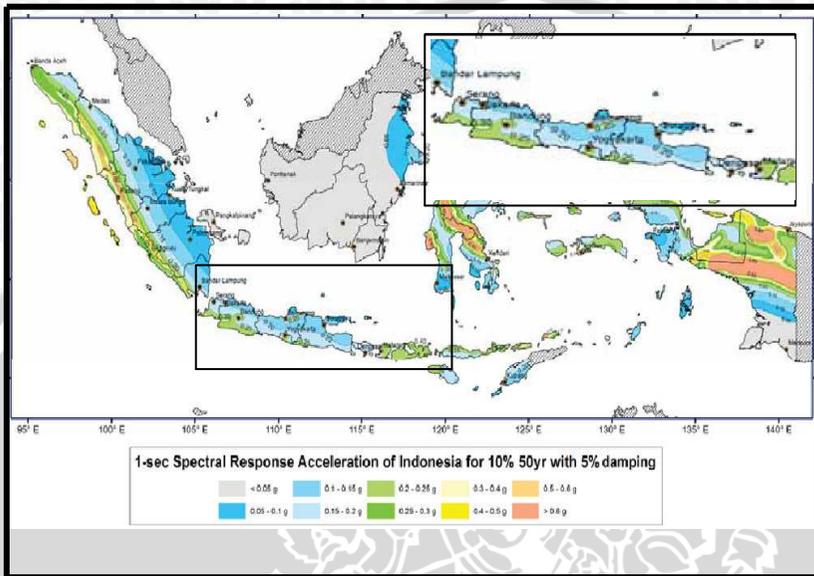


Gambar 4.2 Kontur percepatan tanah maksimum daerah Jawa Timur menggunakan fungsi atenuasi Youngs

Tabel 4.1 Hasil perhitungan percepatan tanah maksimum menggunakan fungsi atenuasi Youngs (1997)

Lintang	Bujur	PGA (gal)
-8.5	111	0.142716636
-8.5	111.1	0.146159212
-8.5	111.2	0.136553867
-8.5	111.3	0.140772621
-8.5	111.4	0.160224361
-8.5	111.5	0.164641785
-8.5	111.6	0.150852939
-8.5	111.7	0.12725537
-8.5	111.8	0.106163818
-8.5	111.9	0.116346955
-8.5	112	0.117012652
-8.5	112.1	0.109884139
-8.5	112.2	0.101395248
	112.3	0.1221696
-8.5	112.4	0.148501299
-8.5	112.5	0.171541295
-8.5	112.6	0.190172305
-8.5	112.7	0.182493282

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010



Gambar 4.3 Peta kontur percepatan tanah maksimum hasil Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010
sumber : Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010

4.2 Pembahasan

Berdasarkan *kontur* nilai PGA daerah Jawa Timur pada Gambar 4.2 diatas terlihat bahwa nilai percepatan-maksimum berkisar antara 0.09 g sampai 0.175 g. Nilai terbesar berada dibagian Barat laut wilayah Jawa Timur yang meliputi Kota Pacitan, Trenggalek, Ngawi, Ponorogo, Magetan dan Madiun dengan nilai percepatan tanah berkisar antara 0.13 g sampai 0.175g. Sedangkan pada bagian selatan terdapat kota Malang, Blitar dan Lumajang yang juga mempunyai nilai percepatan tanah yang relatif tinggi yaitu berkisar antara 0.12 g sampai 0.14 g.

Secara umum pola sebaran nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan dengan rumusan attenuasi Youngs (1997) pada Gambar 4.2 relatif sama dengan peta yang dihasilkan oleh tim revisi peta gempa Indonesia 2010 (Gambar 4.3) namun memiliki harga yang lebih kecil, hal ini diakibatkan oleh perbedaan metode yang

digunakan. Sedikit perbedaan terdapat pada bagian utara yaitu di sekitar Kota Bojonegoro, Tuban, Lamongan dan Gresik dimana rumusan atenuasi Youngs (1997) memberikan nilai percepatan tanah yang lebih besar daripada daerah disekitarnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diuraikan beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Rumusan atenuasi yang paling sesuai untuk wilayah Jawa Timur adalah rumusan Youngs (1997). Hal ini didasarkan pada nilai *root mean square error* (RMSE) yang cukup kecil
2. Secara umum pola sebaran nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan relatif sama dengan peta yang dihasilkan oleh tim revisi peta gempa Indonesia 2010 namun memiliki harga yang lebih kecil, hal ini diakibatkan oleh perbedaan metode yang digunakan. Berdasarkan perhitungan menggunakan rumusan Youngs, daerah yang memiliki nilai Percepatan tanah maksimum sesuai dengan peta kontur adalah daerah Pacitan. Berdasarkan data histories pernah terjadi gempa yang kuat pada daerah tersebut.

5.2 Saran

Mengingat selama ini proses penentuan nilai percepatan tanah masih menitikberatkan pada metode empiris karena keterbatasan data aktual, maka jaringan stasiun Accelerograph yang ada perlu dikembangkan baik secara kuantitas maupun kualitas.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 2011. <http://www.isc.ac.uk> diakses tanggal 05 September 2011
- Anonymous, 2011. <http://forum.vivanews.com/jawa-timur/31938-daftar-gempa-yang-pernah-terjadi-di-jatim.html> diakses pada tanggal 05 September 2011
- Anonymous, 2011. <http://www.scribd.com/kadekku/d/26596679-Seismik-Gempa-Bumi> diakses tanggal 12 Desember 2011
- Douglas, J. (2011). *Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground-motion prediction equations, 1964-2010* Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM. PEER 2011/102 April 2011
- Elnashai, Amr and Di Sarno, Luigi. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. West Sussex. Wiley & Sons, Ltd.
- Gutenberg, B. and Richter. C.F. *Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, And Acceleration*. (Second Paper)
- I Nyoman Sukanta, S.Si, M.T. et all. *Accelerograph BMKG Dalam Penentuan Peta Intensitas Gempa Kuat*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika
- Irsyam M, et al, 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung 1 Juli 2010, Laporan Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010.
- J.R. Murphy and L.J. O'Brien. *The Correlation Of Peak Ground Acceleration Amplitude With Seismic Intensity And Other Physical*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.67, No.03, pp.877-915, June 1977 Canada Taurus

Mccalpin JP. *Earthquake Magnitude Scales. Earthquake.*
1990:6-9.

Neville C. Donovan. *A Statistical Evaluation Of Strong Motion Data Including The February 9, 1971 San Fernando Earthquake.* Senior Engineer, Partner, Dames & More, San Fransisco, California.

Nurhidayat Rahmat, 2011. *Analisa Percepatan Getaran Tanah Maksimum Serta Hubungan Dengan Percepatan Getaran tanah Dengan Intensitas Di Pulau jawa menggunakan Metode Gutenberg Richter Dan Metode Murphy O'Brein.* SKRIPSI, Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN" Yogyakarta 2011.

Rogers, J. J. W. and J. A. S. Adams. 1966. *Fundamentals of Geology.* New York and London, Harper and Row.

Stein, S. and M. Wyssession. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure.* Oxford, blackwell Publishing.

Youngs, RR., et al, 1997, "*Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes*" Seismological Research Letters Vol. 68, Number 1 January / February 1997, pp.58-74