

## **BAB II**

### **TEORI DASAR**

#### **2.1. Gempa Bumi**

Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Kondisi inilah yang menjadi salah satu faktor gempa sering terjadi di wilayah Indonesia (Santoso, 2005). Gempa bumi terjadi karena adanya penumpukkan energi pada batas lempeng yang bersifat konvergen (bertumbukan), divergen (saling menjauh), dan *transform* atau pada sesar yang dimana batuan tidak mampu lagi menahan batas elastisnya, sehingga, sehingga akan dilepaskan sejumlah energi dalam bentuk rangkaian gelombang seismik yang dikenal sebagai gempa bumi (Supartoyo dan Surono, 2008).

Gempa bumi umumnya terjadi di pertemuan batas lempeng. Ketika dua buah lempeng bertumbukan, lempeng yang memiliki kerapatan massa yang lebih besar akan menunjam ke bawah. Besar dan kecilnya energi yang dilepaskan saat gempa bumi tergantung seberapa besar batas elastisitas lempeng terlampaui. Pelepasan energi tersebut menimbulkan getaran partikel yang menjalar ke segala arah (Winardi, 2006). Adapun jenis patahan aktif penyebab gempa bumi yaitu sesar naik (*reverse fault*), sesar turun (*normal fault*) dan sesar mendatar/geser (*strike slip fault*) (Supartoyo dan Surono, 2008).

#### **2.1.1 Jenis Gelombang Gempa Bumi**

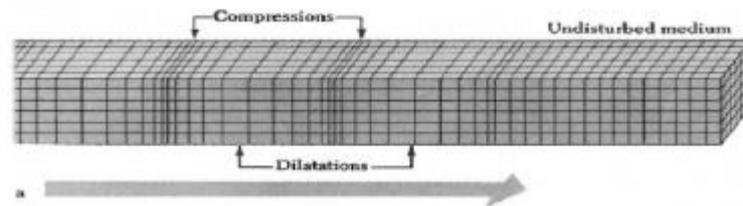
Para ahli seismologi membedakan jenis gelombang gempa bumi berdasarkan kecepatan rambatan dan arah getaran, yakni:

- Gelombang badan (*Body wave*)

##### 1. Gelombang Primer (P)

Gelombang Primer atau gelombang kompresi merupakan gelombang badan (*body wave*) yang memiliki kecepatan lebih tinggi dari gelombang S. Gelombang ini merupakan gelombang longitudinal, partikel yang merambat

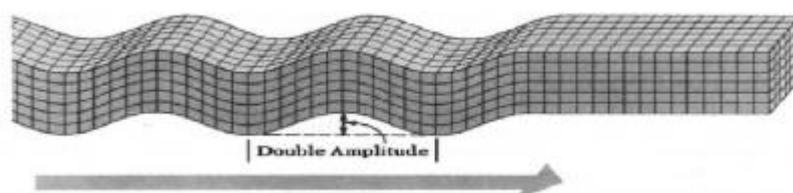
bolak balik dengan arah rambatnya (arah gerak partikel searah dengan arah rambat gelombang). Gelombang ini terjadi karena adanya tekanan. Karena memiliki kecepatan tinggi gelombang ini memiliki waktu tiba terlebih dahulu dari pada gelombang S. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) adalah  $\pm 5-7$  km/s di kerak bumi,  $> 8$  km/s di dalam mantel dan inti bumi,  $\pm 1,5$  km/s di dalam air, dan  $\pm 0,3$  km/s di udara (Hidayati, 2010).



**Gambar 2.1.** Ilustrasi Gerak Gelombang P

## 2. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang S atau gelombang transversal adalah gelombang yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya serta waktu tibanya setelah gelombang P. Gelombang ini tidak merambat pada fluida, sehingga pada inti bumi bagian luar tidak terdeteksi. Kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) adalah 3-4 km/s di kerak bumi,  $> 4,5$  km/s di mantel bumi, dan 2,5-3 km/s di dalam inti bumi (Hidayati, 2010).

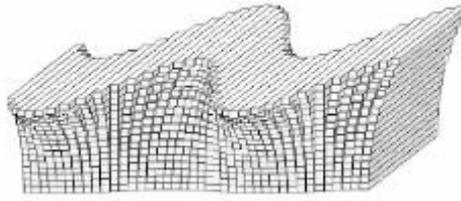


**Gambar 2.2.** Ilustrasi Gerak Gelombang S

- Gelombang permukaan (*Surface wave*)

### 1. Gelombang *Love*

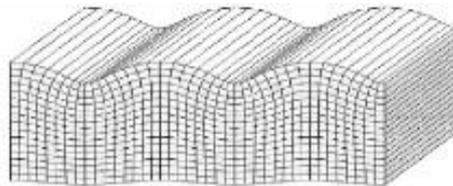
Gelombang ini merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya. Gelombang *Love* merupakan gelombang transversal, kecepatan gelombang ini di permukaan bumi adalah 2,0-4,4 km/s (Hidayati, 2010).



**Gambar 2.3.** Ilustrasi Gerak Gelombang *Love*

## 2. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang memiliki kecepatan 2,0-4,2 km/s di dalam bumi. Arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah bidang datar (Hidayati, 2010).



**Gambar 2.4.** Ilustrasi Gerak Gelombang *Rayleigh*

### 2.1.2 Jenis Gempa Bumi

Jika dilihat dari penyebabnya, gempa bumi dapat digolongkan menjadi empat jenis gempa bumi, yaitu :

#### 1. Gempa Bumi Vulkanik (Gunung Api)

Gempa bumi vulkanik merupakan gempa bumi yang terjadi sebagai dampak terjadinya letusan gunung berapi. Gempa bumi vulkanik biasanya terjadi sesaat sebelum lava gunung berapi keluar dari dalam perut bumi. Jenis gempa bumi vulkanik merupakan salah satu jenis gempa yang dapat diprediksi.

#### 2. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang terjadi sebagai dampak terjadinya pergeseran lempengan tektonik secara tiba-tiba. Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling dahsyat dan tidak dapat diprediksi kedatangannya atau waktu terjadinya.

### 3. Gempa Bumi Runtuhan

Gempa bumi runtuhan merupakan gempa bumi yang terjadi sebagai dampak terjadinya longsor atau runtuhnya daerah kapur yang ada di sekitar wilayah pertambangan. Sama seperti gempa bumi tektonik, gempa bumi runtuhan biasanya tidak dapat diprediksi waktu terjadinya. Akan tetapi tingkat guncangan yang ditimbulkan dari gempa bumi cenderung jauh lebih kecil dibandingkan dengan dua gempa bumi yang sebelumnya.

### 4. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi buatan merupakan gempa bumi yang terjadi karena ulah manusia baik yang disengaja ataupun yang tidak disengaja. Gempa bumi buatan dapat terjadi karena penggunaan dinamit, bom, atau berbagai macam alat peledak lainnya. Tidak hanya itu, gempa bumi buatan juga dapat terjadi tanpa disengaja yaitu ketika ada ledakan dahsyat yang terjadi karena kecelakaan.

Menurut Subardjo (2004), gempa bumi berdasarkan kekuatannya dibedakan menjadi 7 yakni:

- a) Gempa bumi yang sangat besar dengan magnitudo 8 SR
- b) Gempa bumi besar dengan magnitudo antara 7-8 SR
- c) Gempa bumi merusak dengan magnitudo antara 5-6 SR
- d) Gempa bumi sedang dengan magnitudo antara 4-5 SR
- e) Gempa bumi kecil dengan magnitudo antara 3-4 SR
- f) Gempa bumi mikro dengan magnitudo antara 1-3 SR
- g) Gempa bumi ultra mikro dengan magnitudo yang kurang dari 1 SR

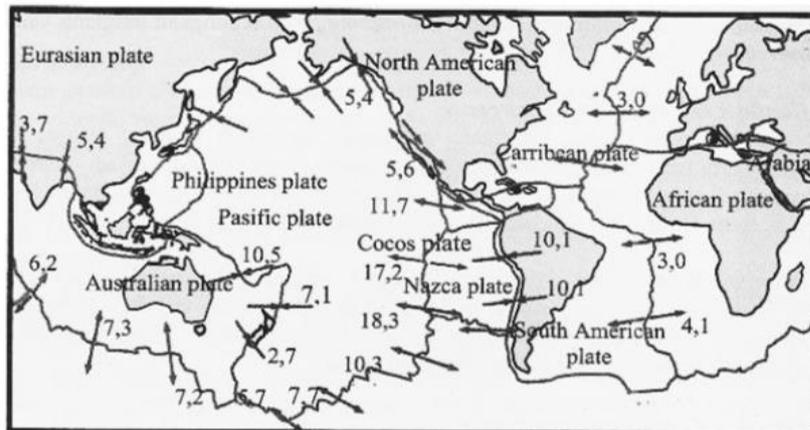
Gempa bumi berdasarkan letak kedalaman hiposenter yaitu:

1. Gempa bumi dalam adalah gempa bumi yang hiposenter lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa bumi ini pada umumnya tidak terlalu berbahaya.
2. Gempa bumi menengah adalah gempa bumi yang hiposenternya berada antara 50-300 km dari permukaan bumi.

3. Gempa dangkal adalah gempa bumi yang hiposenternya berada kurang dari 50 km di bawah permukaan bumi.

### 2.1.3 Teori Tektonik Lempeng

Teori tektonik lempeng dikembangkan berdasarkan teori *continental drift*. Teori ini menyatakan bahwa lapisan litosfer bukanlah lapisan yang masif dan homogen melainkan lapisan yang tidak masif dan pecah-pecah. Bentuk pecah-pecahnya lapisan ini terjadi karena penyusutan bumi akibat pendinginan pada saat pembentukan lapisan di dalam bumi. Pecahnya lapisan litosfer tidak teratur, dimana retaknya lapisan tersebut berada pada bagian yang tergolong lemah. Akibat pecah atau retaknya lapisan litosfer maka di bagian lapisan luar bumi akan terdapat lempeng-lempeng litosfer yang selanjutnya disebut sebagai lempeng tektonik (Widodo, 2012). Gambar 2.5 dibawah ini menjelaskan pergerakan lempeng tektonik yang bergerak relatif satu sama lain dengan arah dan kecepatan yang berbeda.



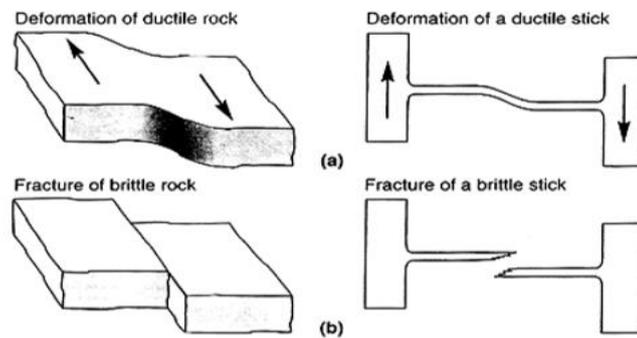
**Gambar 2.5.** Arah dan Kecepatan Gerakan Lempeng Tektonik (Widodo, 2012)

### 2.1.4 Teori *Elastic Rebound*

Teori *Elastic Rebound* ini diusulkan oleh H.F. Reid berdasarkan studi terhadap retakan yang terjadi di San Andreas pada waktu terjadinya gempa pada tahun 1906. Menurut teori tektonik lempeng yang telah dijelaskan diatas, kerak bumi terdiri atas beberapa lempeng yang bergerak satu terhadap yang lain. Batas antara dua buah lempeng inilah yang dinamakan retakan kerak bumi atau *fault*. Menurut teori *Elastic Rebound*, sebab dari gempa adalah adanya pelepasan *Elastic-Strain*

yang tiba-tiba. Dua gaya yang bekerja saling berlawanan pada batuan bawah permukaan menyebabkan batuan akan terdeformasi. *Stress* yang terakumulasi pada batuan bawah permukaan yang telah mencapai batas elastik, maka pergeseran inilah terjadi gempa.

Teori *elastic rebound* juga menjelaskan bahwa tingkat kerusakan batuan akibat pelepasan energi dipengaruhi oleh karakteristik batuan tersebut. Jika batuan bersifat *ductile* maka pelepasan energinya cenderung lambat. Apabila batuan bersifat *brittle*, maka batuan akan patah lebih cepat dan menimbulkan gempa. Setelah gempa terjadi, proses penimbunan energi akan berlangsung kembali sampai suatu saat gempa akan terjadi kembali (Mahesworo, 2008)



**Gambar 2.6.** Teori *Elastic Rebound* (Reid, 1991)

## 2.2 *Seismic Hazard Analysis (SHA)*

*Seismic hazard* dan *seismic risk* memiliki perbedaan yang mendasar. *Seismic hazard* adalah bentuk fisik dari *hazard* itu sendiri, seperti pergerakan tanah, pergerakan patahan, dan lain sebagainya yang dapat menimbulkan bahaya. Sedangkan *seismic risk* adalah kemungkinan dari kehilangan atau kerugian material dan jiwa yang disebabkan oleh *seismic hazard*. Jika tidak ada kerugian material ataupun jiwa yang ditimbulkan oleh suatu gempa bumi, maka dapat dikatakan bahwa *seismic risk* relatif tidak ada. *Seismic Hazard Analysis* dilakukan untuk memberikan estimasi kuantitatif dari guncangan gempa pada suatu lokasi tertentu. Hasil analisis bencana gempa ini dapat digunakan untuk pembuatan peta mikrozonasi dalam skala regional. Analisis bahaya kegempaan (*Seismic Hazard Analysis*) bertujuan untuk menentukan suatu batas intensitas gempa tertentu yang

berlaku di daerah yang diteliti berdasarkan nilai kemungkinan yang akan terjadi atau terlampaui pada periode waktu tertentu.

Pembuatan peta mikrozonasi ini dilakukan dengan cara membagi kawasan yang akan diteliti dalam bentuk *grid-grid* dengan spasi tertentu. Kemudian dari setiap grid tersebut diestimasi parameter pergerakan tanahnya (*ground motion*). Parameter pergerakan tanah umumnya yang dihitung berupa percepatan gempa di batuan dasar (*bedrock*). Salah satu tujuan dilakukannya pembuatan peta *hazard* gempa adalah sebagai gambaran perencanaan bangunan tahan gempa dan menggambarkan efek gempa pada suatu lokasi yang akan membantu dalam rangka mengantisipasi dan meminimalisasi korban jiwa maupun kerugian harta benda (Susilo dan Adnan, 2013).

Analisis *seismic hazard* ini dapat dilakukan melalui dua cara yaitu secara deterministik (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*) dan probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*). Metode deterministik umumnya digunakan pada awal perkembangan rekayasa gempa dan metode ini skenario kejadian gempa telah ditentukan. Skenario tersebut meliputi kejadian gempa dengan magnitudo tertentu yang akan terjadi pada lokasi tertentu. Sedangkan metode probabilistik merupakan metode yang mempertimbangkan faktor ketidakpastian baik dalam hal magnitudo, lokasi, dan waktu kejadian gempa (Sunardi, 2013). Metode probabilistik ini memberikan kerangka kerja yang terarah sehingga faktor-faktor ketidakpastian tersebut dapat diidentifikasi, dihitung, kemudian digabungkan dengan metode pendekatan yang rasional.

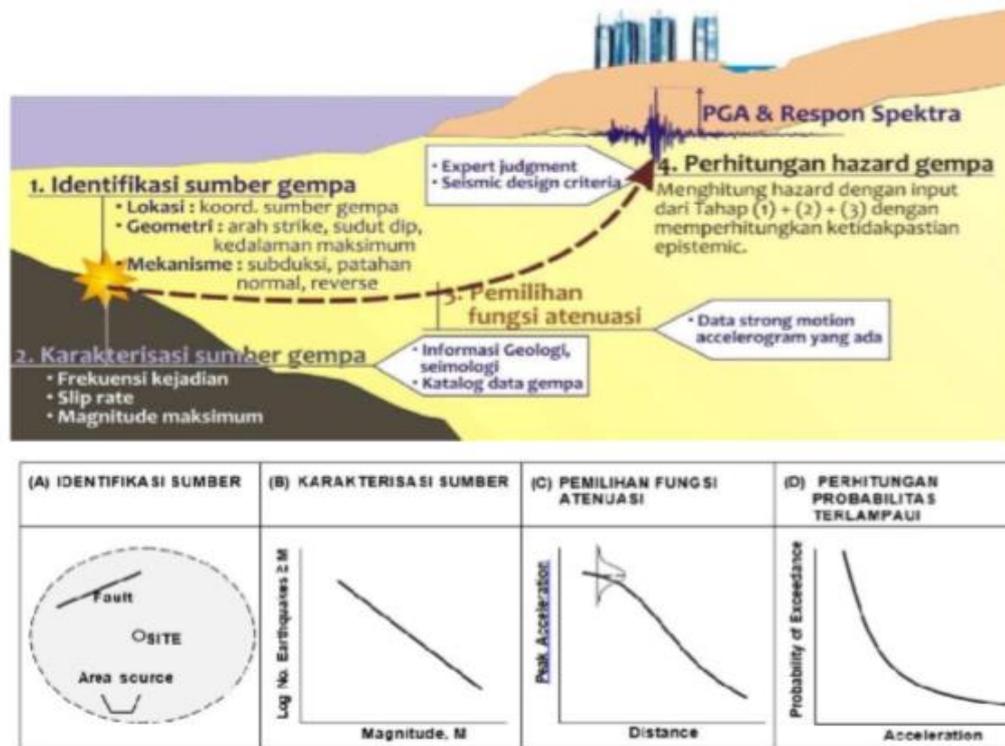
### **2.2.1 *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)***

Secara umum metode pendekatan DSHA dapat dibagi menjadi 4 tahapan. Tahap pertama adalah identifikasi sumber-sumber gempa yang meliputi lokasi sumber-sumber gempa, geometri sumber, mekanisme kegempaan, sejarah kegempaan, dan parameter kegempaan seperti magnitudo maksimum dan frekuensi keberulangan kejadian gempa. Tahap kedua adalah untuk setiap sumber gempa yang berada di sekitar lokasi studi ditentukan (diskenariokan) parameter gempa yang akan menghasilkan dampak di lokasi studi seperti magnitudo yang maksimum dan

lokasi kejadian yang terdekat ke lokasi studi. Tahap ketiga adalah menghubungkan parameter sumber gempa dengan parameter pergerakan tanah di lokasi studi dengan menggunakan fungsi atenuasi. Tahap keempat adalah menentukan parameter gempa desain berdasarkan skenario yang menghasilkan parameter pergerakan tanah terbesar (*worst case scenario*). DSHA dilakukan dengan menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi (Irsyam, 2010).

### **2.2.2 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)**

Secara umum, analisis dengan menggunakan pendekatan probabilistik dianggap lebih rasional dibandingkan dengan analisis deterministik. PSHA pada prinsipnya adalah analisis deterministik yang menggunakan berbagai macam skenario dan didasarkan tidak hanya pada parameter gempa yang menghasilkan pergerakan tanah terbesar. Pada metode probabilistik ini akan memungkinkan faktor-faktor ketidakpastian yang terdapat dalam gempa untuk dipertimbangkan dalam analisisnya. Faktor ketidakpastian tersebut antara lain seperti lokasi, ukuran, dan frekuensi kejadian gempa bumi. Sehingga pendekatan PSHA dapat digunakan untuk memprediksi seberapa besar probabilitas kondisi terburuk yang akan terjadi di daerah penelitian. Sampai saat ini metode PSHA digunakan oleh para perancang struktur untuk mendesain struktur tahan gempa. Metode PSHA dikembangkan oleh Cornell pada tahun 1968, kemudian dilanjutkan oleh Merz dan Cornell pada tahun 1973. Model dan konsep dari analisis ini tetap dipakai sampai sekarang, namun model dari analisis dan teknik perhitungannya yang terus dikembangkan oleh EERI *Committee on Seismic Risk* pada tahun 1989 yang memiliki empat tahap yaitu identifikasi sumber gempa, karakterisasi sumber gempa, pemilihan fungsi atenuasi dan perhitungan *hazard* gempa.



**Gambar 2.7.** Tahapan PSHA Untuk Mendapatkan Pergerakan Tanah Di Batuan Dasar (Irsyam, M., .dkk, 2010)

### 2.3 Teori Dalam *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*

*Seismic Hazard Analysis* dilakukan dengan mengembangkan model matematik yang akan digunakan untuk memperkirakan kemungkinan kejadian gempa dalam level skala magnitudo atau intensitas tertentu pada interval periode ulang untuk suatu daerah tertentu. Analisis ini menghasilkan parameter desain seismik seperti percepatan maksimum dan kecepatan maksimum yang dapat terlampaui untuk probabilitas serta periode ulang tertentu. Probabilitas bahwa suatu *ground motion* a melebihi suatu nilai tertentu  $a^*$  dihitung untuk suatu potensi gempa pada suatu lokasi sumber gempa dan kemudian dikalikan dengan probabilitas bahwa suatu gempa dengan magnitudo tertentu akan terjadi pada lokasi tersebut.

Teori PSHA mengasumsikan magnitudo gempa bumi  $M$  dan jarak  $R$  adalah variabel acak kontinu dan independen (Susilo, 2013). Dalam bentuk umum, teori probabilitas dapat dinyatakan dalam persamaan dibawah ini:

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{source}} \lambda(M_i > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x / m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dr dm \quad (2.1)$$

Dimana:

$f_M$  =fungsi distribusi dari magnitudo

$f_R$  =fungsi distribusi dari jarak hiposenter

$P(IM > x \mid m, r)$  =probabilitas sebuah gempa dengan magnitudo  $m$  pada jarak  $r$  yang memberikan percepatan maksimum  $IM$  di lokasi yang lebih tinggi dari  $x$ .

$\lambda(IM > x)$  =*annual rate of exceedance*

*Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)* bertujuan untuk memperhitungkan beberapa faktor ketidakpastian dan menggabungkannya untuk menghasilkan distribusi getaran yang mungkin terjadi di sebuah situs di masa yang akan datang. Untuk menilai risiko terhadap suatu struktur bangunan dari guncangan gempa, pertama-tama kita harus menentukan probabilitas tahunan (*annual rate of exceedance*). Dengan PSHA, kita tidak lagi menentukan sumber gempa paling dominan dari *site* yang kita teliti. Sebaliknya, kita akan mempertimbangkan semua kemungkinan kejadian gempa bumi dan gerakan tanah yang dihasilkan.

Pada dasarnya, PSHA terdiri dari lima tahapan yaitu:

1. Mengidentifikasi semua sumber gempa yang dianggap berpengaruh dalam menghasilkan gerakan tanah pada daerah penelitian.
2. Menentukan distribusi besaran gempa (magnitudo).
3. Menentukan distribusi jarak dari sumber ke lokasi.
4. Memprediksi distribusi intensitas gerakan tanah yang dihasilkan sebagai fungsi dari magnitudo gempa bumi, jarak, dan lain sebagainya.

5. Menggabungkan ketidakpastian dalam ukuran, lokasi dan intensitas gerakan tanah, menggunakan perhitungan yang dikenal sebagai teorema probabilitas total

Metode DSHA dan PSHA akan saling melengkapi tetapi tetap memberikan penekanan pada salah satu hasil. Hasil dari PSHA adalah kurva *hazard* atau *map* yang merepresentasikan nilai dari parameter kekuatan *ground motion* daerah penelitian yang memiliki probabilitas yang melampaui periode tertentu. Untuk keperluan desain infrastruktur tahan gempa, umumnya digunakan metode PSHA.

#### **2.4 Pemodelan Sumber Gempa**

Pemodelan sumber gempa merupakan salah satu komponen utama dalam PSHA. Zona Sumber gempa didefinisikan sebagai area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama akan terjadi gempa di masa mendatang. Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat resiko gempa (Irsyam, 2010). Berdasarkan publikasi terkini, tatanan seismotektonik untuk wilayah Indonesia telah dievaluasi secara rinci oleh beberapa peneliti yang dipakai sebagai acuan untuk pembuatan model sumber gempa dan input parameter PSHA. Batasan pemodelan sumber gempa yang penulis lakukan dalam penelitian tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:

1. Jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dengan batasan hingga 500 km.
2. Kedalaman sumber gempa yang digunakan dibatasi hingga 300 km.
3. Pemilihan fungsi atenuasi untuk setiap model sumber gempa yang ada, dianggap sesuai dengan karakterisasi kegempaan dan model sumber gempa di Indonesia.

Dalam penelitian tugas akhir kali ini, model sumber gempa yang digunakan ada tiga (3) yaitu sumber gempa sesar atau patahan, sumber gempa subduksi atau *megathrust*, dan sumber gempa *background*.

1. Zona sumber gempa subduksi atau *megathrust*

Zona gempa subduksi adalah model yang didapat dari data seismotektonik. Zona ini biasanya terdapat didekat batas pertemuan antara lempeng benua dan lempeng samudra, dimana lempeng samudra menunjam kebawah akibat massa jenisnya yang lebih besar. Dalam tugas akhir ini, zona subduksi yang dimaksud adalah zona *megathrust*. Mengikuti Asrurifak (2010), batas kedalaman maksimum dari sumber gempa ini dimodelkan hingga 50 km merupakan daerah *megathrust*.

2. Zona sumber gempa *fault* atau sesar

Zona *fault* atau sesar merupakan model gempa akibat patahan dangkal dengan mekanisme *reverse*, *normal* maupun *strike slip* yang terjadi pada patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas baik dalam hal lokasi, mekanisme, *slip rate*, *dip*, dan panjang patahan. Model sumber gempa *fault* diidentifikasi berdasarkan geometri *fault* tersebut. Zona Sumber gempa patahan dangkal dimodelkan hingga kurang dari 20 km (Hutapea dan Mangape, 2009).

3. Zona sumber gempa *background*

Zona *background* yaitu zona sumber gempa yang belum diketahui secara jelas, tetapi pada lokasi tersebut terjadi beberapa kejadian gempa. Sumber gempa *background* pada penelitian kali ini dibagi berdasarkan kedalamannya yaitu *shallow background* (kedalaman kurang dari 50 km) dan *deep background* (kedalaman 50 km hingga 300 km).

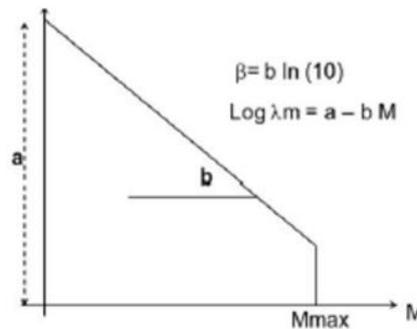
## 2.5 Karakterisasi Sumber Gempa

Parameter input yang digunakan dalam *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) adalah sebagai berikut:

1. Parameter a dan b sebagai karakteristik tektonik kegempaan suatu daerah.

Nilai a dan b didapatkan dari *Gutenberg-Richter recurrence relationship*. Parameter a dan b dapat dikatakan sebagai parameter seismisitas yang menggambarkan karakteristik atau aktifitas tektonik kegempaan pada daerah tertentu.

- Nilai  $a$  adalah konstanta dari persamaan linier dengan hubungan antara frekuensi dan magnitudo. Nilai  $a$  menunjukkan keaktifan seismik yang tergantung pada periode pengamatan, luas daerah dan tingkat seismisitas suatu daerah. Nilai  $a$  yang merupakan konstanta karakteristik daerah gempa yang tergantung pada jangka waktu pengamatan dengan tingkat kegempaan daerah sumbernya.
- Nilai  $b$  adalah konstanta karakteristik dari daerah gempa yang menyatakan penyebaran relatif dari magnitudo gempa pada sembarang titik pada daerah sumber gempa. Nilai  $b$  menunjukkan gradien atau kemiringan dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo.



**Gambar 2.8.** Hubungan  $a$  dan  $b$  Dari Garis Gutttenberg-Richter

2. Magnitudo maksimum dan *slip rate* untuk setiap zona sumber gempa.  
Magnitudo maksimum adalah nilai magnitudo gempa bumi terbesar yang pernah terjadi pada suatu wilayah penelitian dan pada periode waktu tertentu. Magnitudo maksimum didasarkan pada katalog gempa atau hasil yang telah didapatkan oleh para peneliti terdahulu.  
Laju geser (*slip rate*) merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis bahaya kegempaan di suatu daerah, besar maupun arahnya dapat ditentukan menggunakan metode *survey* GPS.
3. Fungsi atenuasi untuk setiap model sumber gempa yang ada, dianggap sesuai dengan karakterisasi kegempaan dan model sumber gempa di wilayah Indonesia.
4. Klasifikasi jenis tanah yang didasarkan pada kecepatan gelombang geser lapisan tanah sampai kedalaman 30 m ( $V_{s30}$ ).

## 2.6 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan suatu fungsi yang menggambarkan hubungan antara parameter pergerakan tanah (spektra percepatan), magnitudo (M), dan jarak (R) dari suatu sumber titik dalam daerah penelitian. Secara umum, fungsi atenuasi tergantung pada faktor-faktor berikut, antara lain:

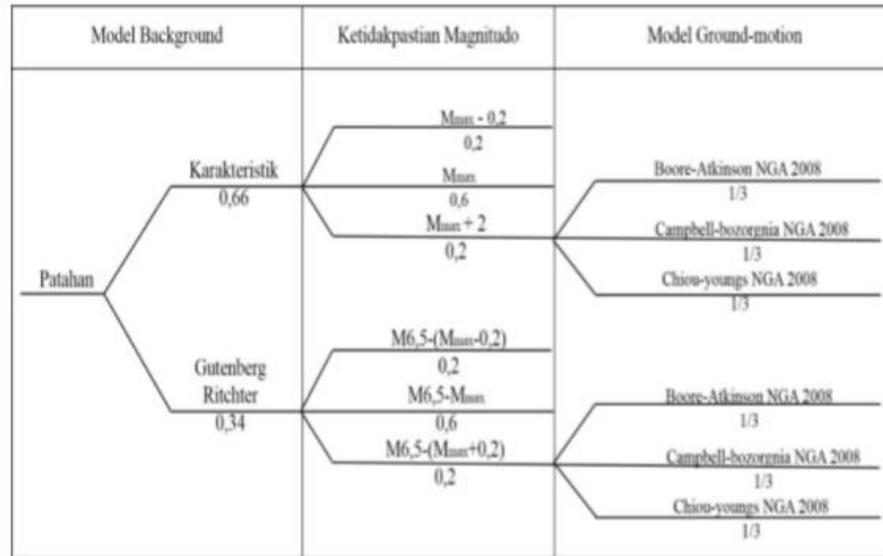
1. Tipe mekanisme sumber gempa daerah yang ditinjau
2. Jarak episenter
3. Kondisi lapisan kulit bumi yang dilintasi oleh gelombang gempa
4. Kondisi tanah lokal di sekitar lokasi.

Fungsi atenuasi merupakan suatu fungsi khas yang diturunkan dari data gempa pada suatu lokasi tertentu. Penurunan semua model atenuasi didasarkan atas analisis statistik dan gerakan tanah terekam. Sejumlah peneliti telah mempublikasi beberapa fungsi atenuasi berdasarkan catatan gempa yang pernah terjadi dan dicatat oleh *accelerograph*. Untuk mendapatkan fungsi atenuasi yang sesuai maka diperlukan data percepatan tanah yang banyak dari daerah penelitian. Namun, hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang dihasilkan dari catatan gempa di wilayah Indonesia. Hal ini dikarenakan minimnya data pencatatan *time history* di wilayah Indonesia. Maka untuk penelitian *seismic hazard* kali ini, digunakan fungsi atenuasi dari negara lain. Penentuan fungsi atenuasi didasarkan pada persamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah di mana fungsi atenuasi tersebut dibuat (Sunardi, 2013).

## 2.7 Logic Tree

*Logic Tree* merupakan suatu metode untuk memperhitungkan ketidakpastian pada parameter yang digunakan ketika melakukan perhitungan analisis *seismic hazard* dengan pendekatan probabilitas. *Logic tree* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1984 dan menjadi alat yang populer pada analisis *seismic hazard*. *Logic tree* ini dimodelkan dengan rangkaian nodal yang mewakili titik model yang akan dijelaskan dan percabangan yang mewakili variasi model yang akan digunakan. Pendekatan dengan menggunakan *logic tree* ini memungkinkan untuk penggunaan beberapa alternatif model atau metode sehingga perlu ditentukan faktor bobot

yang menggambarkan persentase kemungkinan keakuratan relatif suatu model dengan model lain. Faktor bobot tersebut akan dikalikan dengan tiap model yang diwakilinya. Jumlah faktor bobot dari tiap alternatif model adalah bernilai satu (Sunardi, 2013).



**Gambar 2.9.** Contoh Model *Logic Tree*

### 2.8 Risiko Gempa (*Seismic Risk*)

Saat ini, peraturan bangunan internasional untuk bangunan tahan gempa menggunakan peta hazard kegempaan dengan resiko terlampaui sebesar 2% selama masa bangunan 50 tahun atau setara dengan periode ulang gempa selama 2.475 tahun. Resiko gempa itu sendiri merupakan kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedence*) suatu gempa dengan intensitas (dapat berupa percepatan, kecepatan, lama guncangan, dan sebagainya) tertentu serta perioda ulang tertentu selama suatu masa bangunan (N). Resiko gempa ini dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

$$R_n = 1 - (1 - R_a)^N \quad (2.2)$$

Keterangan:

R<sub>n</sub> = resiko gempa

$R_a$  = resiko tahunan yang dimana sebanding dengan  $\frac{1}{T}$  = kemungkinan tahunan terjadinya gempa bumi dengan intensitas tertentu.

$N$  = masa guna bangunan

$T$  = periode ulang rata-rata gempa

Analisis dari potensi bencana alam itu sendiri meliputi estimasi nilai percepatan gempa maksimum (PGA) dan respon spektra pada periode ulang tertentu berdasarkan teori probabilitas total dengan memperhitungkan kemungkinan terlampaui.

**Tabel 2.1.** Hubungan Parameter Resiko Gempa (SNI 1726: 2012)

<i>Annual Rate</i> (Resiko Tahunan)	T (Periode Ulang)	$R_n$ (Resiko gempa atau <i>Probability of exceedence</i> )	N (Umur Bangunan)
	Tahun	% (Persen)	Tahun
0.002105	475	10	50
0.000404	2.475	2	50
0.000202	4.950	2	100

## 2.9 Percepatan Tanah

Percepatan gelombang seismik atau yang lebih sering disebut sebagai percepatan tanah merupakan salah satu parameter penting dalam bidang seismologi teknik atau *earthquakes engineering*. Besar nilai dari percepatan tanah ini menunjukkan resiko gempa yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam merencanakan bangunan tahan gempa. Semakin kecil nilai percepatan tanah di suatu lokasi, maka semakin kecil pula resiko gempa yang mungkin terjadi, begitu pula sebaliknya.

Seismograf umumnya mencatat parameter gempa berupa simpangan kecepatan dalam satuan *dyne* (cm/s), hasilnya biasa digunakan untuk kepentingan riset-riset seismologi. *Displacement* merupakan simpangan yang terukur dalam satuan mikrometer atau dengan kata lain perpindahan materi yang terukur, sedangkan *acceleration* (percepatan dalam satuan gal atau  $\text{cm/s}^2$ ) biasa digunakan dalam hal kepentingan *engineering*. Percepatan tanah ini diukur oleh sebuah alat bernama accelerograf. Berdasarkan perpindahan materi oleh gelombang dalam satuan waktu dapat diketahui nilai kecepatannya. Dari perubahan kecepatan inilah didapatkan nilai percepatan. Percepatan dan intensitas akibat fenomena gempa merupakan parameter yang saling berhubungan dan penting dalam merencanakan bangunan tahan gempa.

Percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang menjadi sumber kerusakan. Besar gaya yang dialami oleh suatu bangunan akibat terjadinya gempa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat bangunan, beberapa faktor koreksi, dan koefisien seismik. Koefisien seismik ini ditentukan oleh percepatan tanah dan periode ulang gempa. Percepatan tanah efektif pada suatu bangunan bergantung pada jarak sumber gempa ke lokasi, kedalaman sumber, besar magnitudo gempa, kualitas bangunan, dan lain-lain. Data percepatan tanah maksimum akibat getaran gempa pada suatu lokasi menjadi penting untuk menggambarkan tingkat resiko gempa. Semakin besar nilai percepatan tanah maksimum di suatu tempat, maka semakin besar juga resiko gempa yang terjadi. Perumusan ini tidak selalu benar, bahkan dari suatu metode lainnya tidak selalu sama. Namun cukup memberikan gambaran tentang resiko tinggi terhadap kerusakan gempa pada suatu daerah (Ibrahim, 2005).

## **2.10 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_{s30}$ )**

Perambatan vertikal gelombang geser merupakan perambatan gelombang yang hanya menyebabkan perpindahan materi dalam arah horizontal. Percepatan gelombang gempa dapat diperkirakan pada batuan dasar dan pada permukaan tanah. Batuan dasar merupakan tanah atau batuan yang lebih keras dan padat di bawah lapisan tanah yang lebih lunak dan tidak kompak.

Dari nilai kecepatan rata rata gelombang geser sedalam 30 meter ( $V_s30$ ) yang mewakili suatu lokasi maka dapat diketahui kondisi tanah permukaan yang menjadi dasar untuk menentukan klasifikasi jenis tanah di lokasi penelitian. Dalam penelitian tugas akhir ini klasifikasi jenis tanah akan mengacu pada Peraturan Gempa Indonesia dalam SNI 1726:2012.

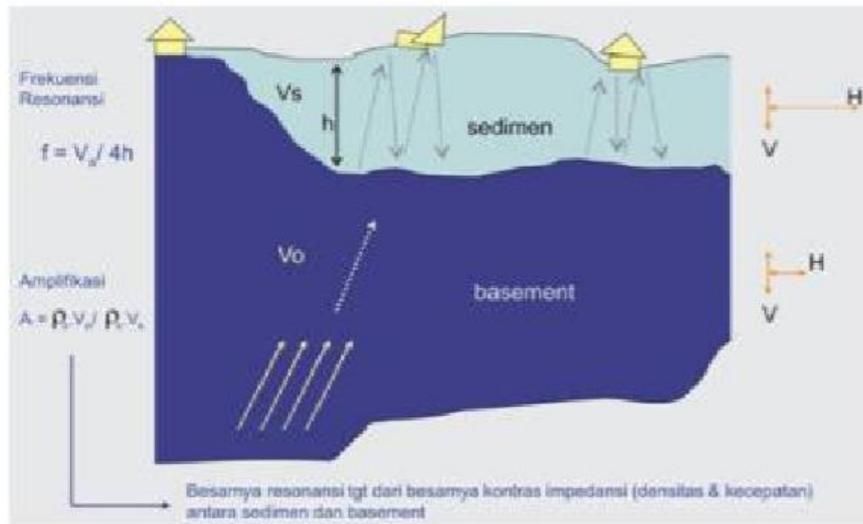
**Tabel 2.2.** Klasifikasi Situs (SNI 1726: 2012)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15sampai 50	50 sampai100

### 2.11 Faktor Amplifikasi

Gelombang gempa yang menjalar dari batuan dasar ke permukaan akan mengalami amplifikasi. Besar nilai amplifikasi ini tergantung dari jenis atau sifat fisik tanah itu sendiri. Sampai sekarang, umumnya standar besar amplifikasi yang dipakai adalah nilai kecepatan gelombang permukaan sampai kedalaman 30 meter ( $V_s30$ ). Kerusakan struktur bangunan akibat gempa dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak diketahui dapat memperkuat gerakan tanah selama gempa dan oleh karena itu kerusakan yang diakibatkan akan menjadi lebih parah daripada lapisan yang lebih keras.

Ada dua sebab terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang mengakibatkan kerusakan bangunan. Pertama, adanya gelombang gempa yang terjebak di lapisan lunak, jika gelombang ini mempunyai frekuensi yang relatif sama maka akan terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat resonansi ini gelombang tersebut akan saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan frekuensi natural anatar geologi setempat dengan bangunan. Amplifikasi dicirikan dengan adanya batuan sedimen yang berada di atas *basement* dengan perbedaan densitas.



**Gambar 2.10.** Amplifikasi Gelombang Seismik (Seed, 1972)

Faktor amplifikasi tergantung pada kelas situs pada Tabel 2.2 sebelumnya. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi pada kondisi PGA, faktor amplifikasi pada periode pendek 0,2 detik ( $F_a$ ), dan faktor amplifikasi pada periode panjang 1,0 detik ( $F_v$ ). Besar nilai amplifikasi untuk setiap periode ditentukan pada Tabel 2.3, 2.4, dan 2.5 dibawah ini:

**Tabel 2.3.** Koefisien Situs  $F_{PGA}$  (SNI 1726: 2012)

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

**Tabel 2.4.** Koefisien Situs Periode Pendek 0,2 Detik ( $F_a$ ) (SNI 1726: 2012)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, $S_z$				
	$S_z \leq 0,25$	$S_z = 0,5$	$S_z = 0,75$	$S_z = 1,0$	$S_z \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

**Tabel 2.5.** Koefisien Situs Periode Panjang 1 Detik ( $F_v$ ) (SNI 1726: 2012)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

## 2.12 Percepatan Tanah di Permukaan

Untuk mendapatkan nilai percepatan tanah di permukaan, dilakukan dengan cara mengalikan besar percepatan tanah di batuan dasar yang telah diperoleh sebelumnya menggunakan metode probabilitas dengan faktor amplifikasi. Untuk mendapatkan nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) digunakan persamaan dibawah ini:

$$PSA = F_{PGA} \times PGA \quad (2.3)$$

Keterangan:

PSA = Percepatan tanah maksimum di permukaan (g)

$F_{PGA}$  = Faktor amplifikasi untuk PGA

PGA = Percepatan tanah maksimum di batuan dasar (g)

Sedangkan untuk nilai percepatan di permukaan pada kondisi spektral  $T=0,2$  detik dan  $T=1$  detik ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.4)$$

Keterangan:

$S_{MS}$  = Percepatan tanah di permukaan pada  $T=0,2$  detik (g)

$F_a$  = Faktor amplifikasi  $T=0,2$  detik

$S_s$  = Percepatan tanah di batuan dasar pada  $T=0,2$  detik (g)

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.5)$$

Keterangan:

$S_{M1}$  = Percepatan tanah di permukaan pada T=1 detik (g)

$F_v$  = Faktor amplifikasi T=1 detik

$S_1$  = Percepatan tanah di batuan dasar pada T=1 detik (g)