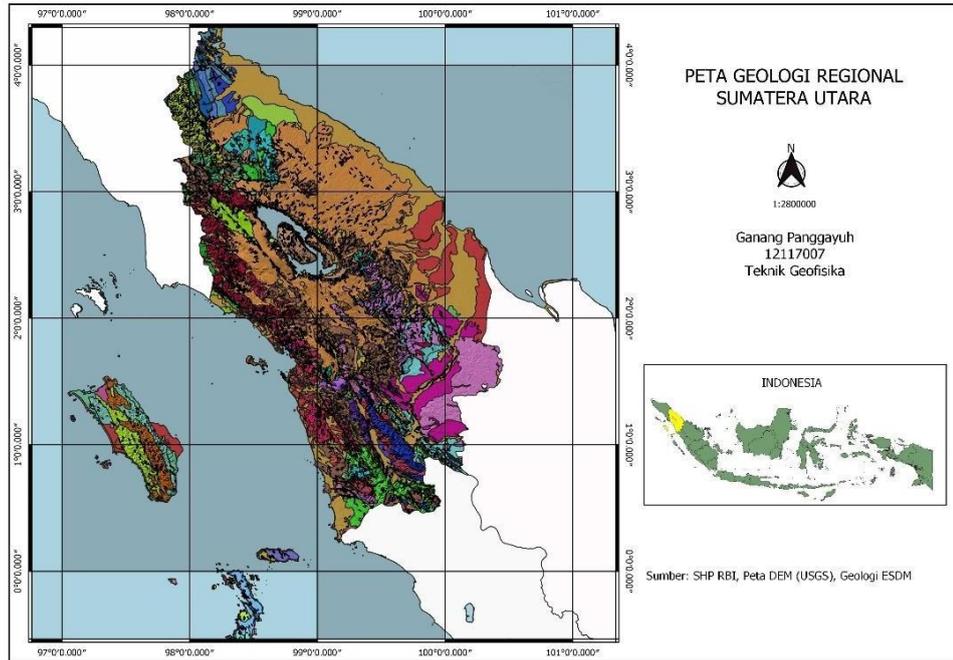


BAB II TEORI DASAR

2.1 Geologi Regional Sumatera Utara

Sumatera Utara merupakan provinsi yang beribu kota Medan dengan luas daerah sebesar 72.981,23 km². Secara geologis, kondisi struktur serta batuan yang kompleks wilayah ini telah mengalami proses tektonik karena berada di pertemuan dua lempeng yaitu Eurasia dan Australia. Proses tersebut menyebabkan adanya rangkaian jalur patahan, pelipatan dan rekahan yang disertai aktivitas vulkanik. Jalur patahan tersebut sepanjang sekitar 390 km yang merupakan pusat gempa di darat dan melewati jalur Sumatera Utara mulai dari segmen Alas-Karo. Gempa yang berada di dasar laut pantai barat dipengaruhi oleh jalur patahan (*subduction*) dengan panjang sekitar 250 km. Struktur geologi yang kompleks dicirikan dengan patahan, lipatan dan perbukitan yang berpotensi menimbulkan tanah longsor. Provinsi Sumatera Utara meliputi 18 wilayah kabupaten dan 1 kota yang dimana 40%-50% daerah tersebut rentan terjadinya tanah longsor (Van Bemmelen, 1949).

Wilayah pantai barat dan dataran tinggi memiliki luas area 45.320 km² (63,2 % luas Sumatera Utara). Kondisi kesuburan geografis dangat beragam, mulai dari iklim, topografi, tanah, dan kontur tanah. Sebagian wilayah kondisi tanahnya labil, khususnya Pulau Nias. Beberapa air terjun, danau, sungai, dan gunung berapi ditemui di daerah ini yaitu Sorik Merapi (jenis A) di Mandailing Natal, Sibual-buali (jenis A) di Tapanuli Selatan, Pusuk Buhit (jenis B) di Samosir, Sibayak dan Sinabung (jenis B) di Karo, serta Hela Toba/Martimbang (jenis B) di Tapanuli Utara. Gunung-gunung api tersebut dipantau secara berkala untuk mengetahui kemungkinan adanya aktivitas yang berarti.

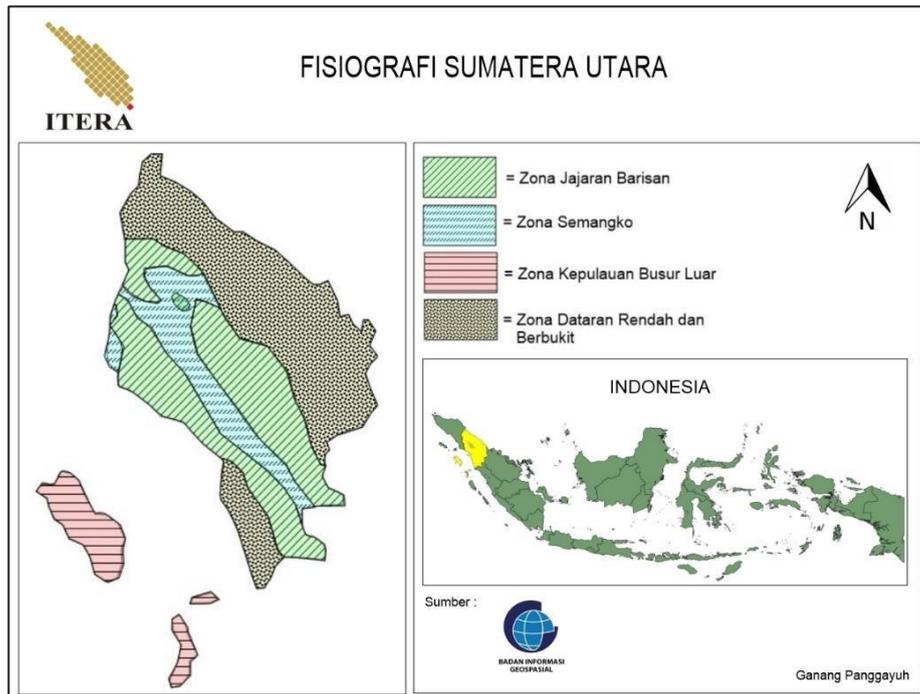


Gambar 2.1 Peta geologi regional Sumatera Utara (SHP RBI, Peta DEM (USGS), dan Geologi ESDM).

Aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia ke bawah Kraton Sunda secara oblik sepanjang barat daya Pulau Sumatera mengakibatkan evolusi tektonik tersier Sumatera. Pergerakan lempeng samudera Indo-Australia ke bawah lempeng *continental* Eurasia terjadi sejak Oligosen akhir (Pulunggono & Cameron, 1984).

Van Bemmelen (1949) mengelompokkan lima fisiografi Sumatera Utara, yaitu:

- a. Zona Barisan, berada di bagian tengah dan selatan Sumatera Utara.
- b. Zona Semangko, bagian tengah Sumatera Utara.
- c. Zona Busur Luar, berada di kepulauan bagian barat Sumatera Utara.
- d. Zona Dataran Rendah dan Berbukit, berada di bagian timur laut Sumatera Utara.



Gambar 2.2 Fisiografi Sumatera Utara (Van Bemellen, 1949).

2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan bumi akibat terlepasnya energi secara tiba-tiba (Sunarjo dkk., 2012). Gempa bumi tektonik diakibatkan oleh pergerakan kerak bumi. Ketika lempeng-lempeng saling membentur serta terdorong ke arah mantel, maka muncul tekanan besar yang terjadi di dalam kerak dan terbentuklah zona subduksi. Tekanan yang besar pada batuan mengakibatkan terjadinya patahan dan keretakan. Secara umum, gempa bumi diklasifikasikan berdasarkan proses kejadiannya (Sunarjo dkk., 2012), antara lain:

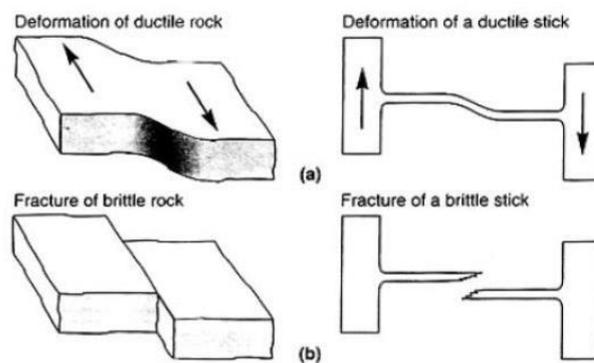
1. Gempa runtuh, merupakan gerakan yang karena runtuh celah interior bumi. Contoh, runtuhnya dinding goa pertambangan bawah tanah.
2. Gempa vulkanik, merupakan gerakan yang disebabkan oleh aktivitas gunung api.
3. Gempa tektonik, adalah gerakan yang muncul akibat terlepasnya sejumlah energi ketika lempeng tektonik bergeser.

Fowler (1990) berpendapat gempa diklasifikasikan berdasarkan kedalaman, yakni:

1. Gempa dangkal: kedalaman < 70 km.
2. Gempa menengah: kedalaman < 300 km.
3. Gempa dalam: kedalaman > 300 km.

2.3 Teori Bingkai Elastik (*Elastic Rebound*)

Teori bingkai elastik menyatakan bahwa saat lempeng tektonik saling bergerak, maka akan terakumulasi *strain elastic* di sepanjang tepi batuan bidang patahan. Hal seperti itu menyebabkan bidang patahan tidak rata sehingga membuat sebagian besar energi menjadi tersimpan akibat penguncian bidang tidak rata tersebut. Jika terjadi *stress geser* (*shear stress*) pada bidang patahan tentu akan memperbesar gaya geser batuan sehingga menyebabkan *rupture*. Apabila batuan pada bidang patahan mengalami *slip* dan kelajuan, maka memungkinkan untuk menghitung waktu akumulasi energi *strain elastic*, dan besarnya magnitudo gempa bumi yang akan terjadi (Reid, 1910).

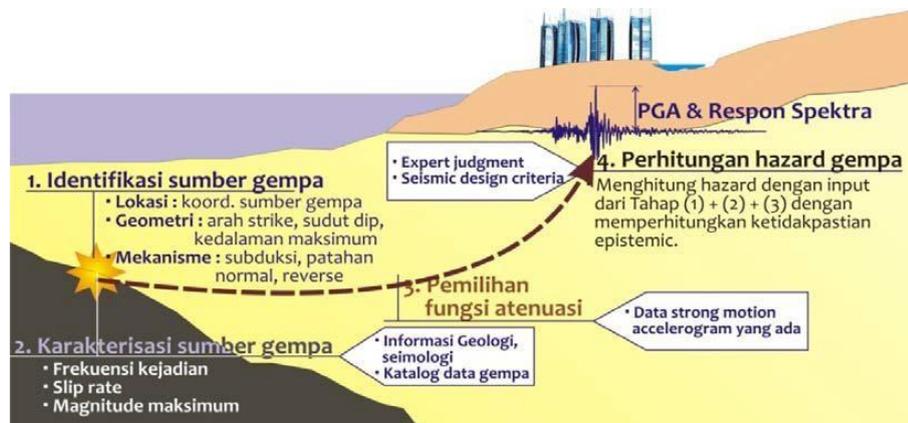


Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya gempa bumi berdasarkan teori bingkai elastik (Reid, 1910).

2.4 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) adalah bagian dari SHA (*Seismic Hazard Analysis*) yang sering digunakan karena mempertimbangkan sejumlah permodelan sebagai pembanding dan diolah melalui pendekatan probabilistik (Irsyam, 2010). Pendekatan probabilistik digunakan untuk mendapatkan hasil yang

mendekati dengan kondisi dan gambaran daerah penelitian. Metode PSHA dikembangkan oleh Cornell (1968), dan diteruskan oleh Merz & Cornell (1973). Pengembangan model dan konsep analisis gempa ini terus dilakukan oleh *Committee on Seismic Risk* (1989) hingga memiliki empat tahap (Gambar 2.4), yaitu a) identifikasi sumber gempa, b) karakterisasi sumber gempa, c) pemilihan fungsi atenuasi, dan d) perhitungan *hazard* gempa. Teori ini mengasumsikan jarak (R) sebagai variabel acak independen yang menerus dan magnitudo gempa (M).



Gambar 2.4 Tahapan-tahapan dalam metode PSHA (Irsyam dkk., 2017).

2.5 Seismic Risk (Resiko Gempa)

Seismic risk diartikan sebagai kemungkinan terlampauinya suatu gempa pada intensitas dan periode ulang tertentu selama masa bangunan. Dalam mengetahui resiko gempa dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$R_n = 1 - 1 (1 - R_a)^N \quad (2.1)$$

Keterangan:

R_n : Resiko gempa

R_a : Resiko tahunan $1/T$

T : Periode ulang rata-rata gempa

N : Masa guna bangunan

Dalam peraturan internasional, peta *hazard* dengan resiko terlampaui 2% selama 50 tahun atau dengan periode ulang 2.475 tahun digunakan bangunan tahan gempa.

Tabel 2.1 Hubungan dari resiko gempa bumi terhadap bangunan.

<i>Annual Rate</i>	<i>T</i>	<i>Rn</i>	<i>N</i> (Masa
	(Periode)	(Resiko Gempa)	guna bangunan)
	(tahun)	(%)	(tahun)
0,00211	475	10	50
0,0004	2475	2	50
0,0002	4950	2	100

2.6 Seismotektonik

Seismotektonik berhubungan dengan relasi sederhana *frequency magnitude distribution* (FMD) guna mengetahui bagaimana aktivitas kegempaan dan kondisi tektonik (Cloos, 2005). Pada seismotektonik ini memiliki parameter, yakni nilai-a dan nilai-b atau lebih dikenal dengan *b-value* dan *a-value*. Hal ini menandakan bahwa sebaran distribusi variasi *b-value* pada beberapa daerah gempa (*seismic regime*). Beberapa peneliti sebelumnya mengemukakan bahwa di beberapa zona patahan dan pada jangka waktu tertentu *b-value* bervariasi secara signifikan (Gutenberg & Richter, 1956). Berdasarkan pengamatan variasi spasial *b-value*, diketahui bahwa *b-value* menunjukkan aktivitas *stress* lokal, dimana secara statistik variasi *b-value* yang signifikan telah teramati di beberapa *regime stress* seperti zona patahan dan zona subduksi lempeng (Rohadi, 2015).

2.7 Identifikasi dan Karakterisasi Sumber Gempa

Pemodelan sumber gempa adalah salah satu komponen penting dalam metode PSHA. Sedangkan zona sumber gempa merupakan area yang memungkinkan terjadinya gempa dimasa mendatang. *Catalogues*, *seismogenic zones*, peta patahan aktif, dan *focal mechanism* merupakan data utama yang digunakan pada pemodelan sumber gempa. Mekanisme sesar lempeng tektonik terdiri dari sesar *oblique*, *dip*

slip, dan sesar mendatar. Sesar mendatar mengangan atau mengiri, sedangkan *dip slip* terdiri atas sesar naik (*reverse fault*) dan sesar turun (*normal fault*).

Mengacu pada Asrurifak (2010), pemodelan sumber gempa diberikan batasan diantaranya:

- a. Kedalaman maksimal sumber gempa hingga 300 km.
- b. Jarak sumber gempa ke lokasi penelitian dibatasi hingga 500 km, kecuali gempa subduksi dibatasi hingga 1000 km.
- c. Menggunakan fungsi atenuasi yang dianggap sesuai dengan model sumber gempa dan karakterisasi kegempaan.

Terdapat tiga sumber gempa pada penelitian ini, yaitu *background*, subduksi, dan sesar.

a. Sumber gempa *background*

Gempa *background* merupakan gempa yang sumber gempanya belum diketahui secara jelas (Irsyam dkk., 2017).

b. Sumber gempa subduksi

Gempa subduksi merupakan model yang diperoleh dari data seismotektonik. Parameter model ini meliputi lokasi subduksi (*longitude* dan *latitude*), *a-value*, *b-value* serta batas kedalaman zona subduksi. Batas kedalaman maksimum dari sumber gempa subduksi ialah 50 km sedangkan untuk kedalaman lebih dari 50 km tergolong dalam sumber gempa *deep background* (Irsyam dkk., 2017).

c. Sumber gempa sesar.

Sumber gempa sesar adalah sumber gempa yang diakibatkan dari patahan dengan mekanisme normal, *reverse* ataupun *strike-slip*. Model sumber gempa diidentifikasi berdasarkan geometri *fault* tersebut (Irsyam dkk., 2017).

2.8 Fungsi Atenuasi

Indonesia belum mempunyai data untuk memperoleh fungsi atenuasi, sehingga harus menggunakan fungsi atenuasi dari wilayah lain. Pemilihan fungsi atenuasi ini didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan struktur di daerah tersebut. Sebagian

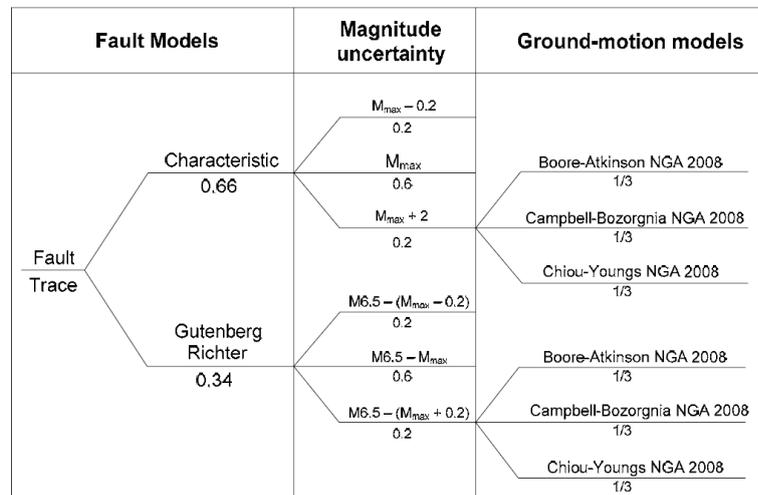
besar telah menggunakan fungsi atenuasi *Next Generation Attenuation* (NGA), dengan menggunakan data gempa global dalam pembuatannya. Penggunaan fungsi atenuasi setiap sumber gempa pada penelitian ini yaitu:

- a. Sumber gempa *shallow crustal*, model sumber gempa *fault* dan *shallow background*:
 - (1) Boore-Atkinson NGA. (Boore & Atkinson, 2008)
 - (2) Campbell-Bozorgnia NGA. (Campbell & Bozorgnia, 2008)
 - (3) Chiou-Youngs NGA. (Chiou & Youngs, 2008)
- b. Sumber gempa subduksi *interface (Megathrust)*, model sumber gempa subduksi:
 - (1) *Geomatrix subduction* (Youngs dkk., SRL, 1997)
 - (2) Atkinson-Boore *BC rock and global source subduction*. (Atkinson & Boore, 2003)
 - (3) Zhao *et al.*, *with variable Vs-30*. (Zhao dkk., 2006)
- c. Sumber gempa Benioff (*deep intraslab*), model sumber gempa *deep background*:
 - (1) *AB intraslab seismicity Cascadia region BC-rock condition*. (Atkinson-Boore, Cascadia 2003)
 - (2) *Geomatrix slab seismicity rock*, 1997 *srl*. July 25 2006. (Youngs dkk., 1997)
 - (3) *AB 2003 intraslab seismicity worldwide data region BC-rock condition*. (Atkinson-Boore, Worldwide 2003).

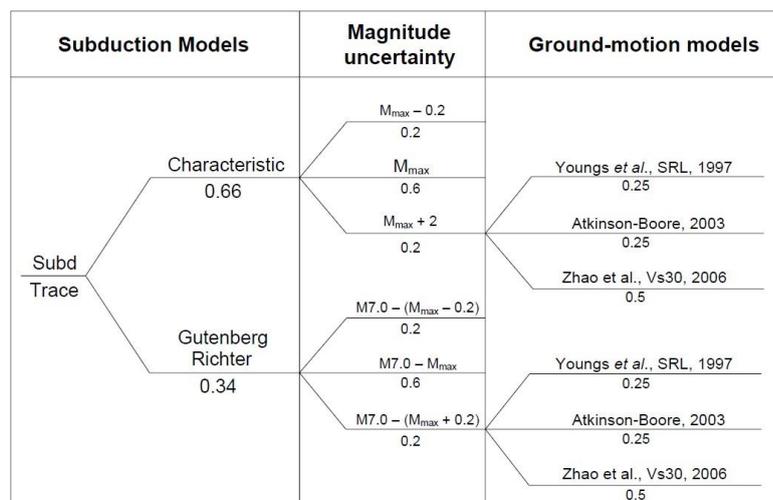
2.9 Logic Tree

Logic tree digunakan pada analisis resiko gempa yang digunakan untuk kombinasi model dan atau parameter yang terkait pada setiap ujung cabang. Semua cabang yang dihubungkan dengan satu nodal tertentu ketika dijumlahkan nilainya harus sama dengan satu. Hasil dari setiap analisis oleh nilai bobot kemungkinan relatif dari kombinasi cabang, dengan hasil akhirnya berupa jumlah dari setiap nilai bobot.

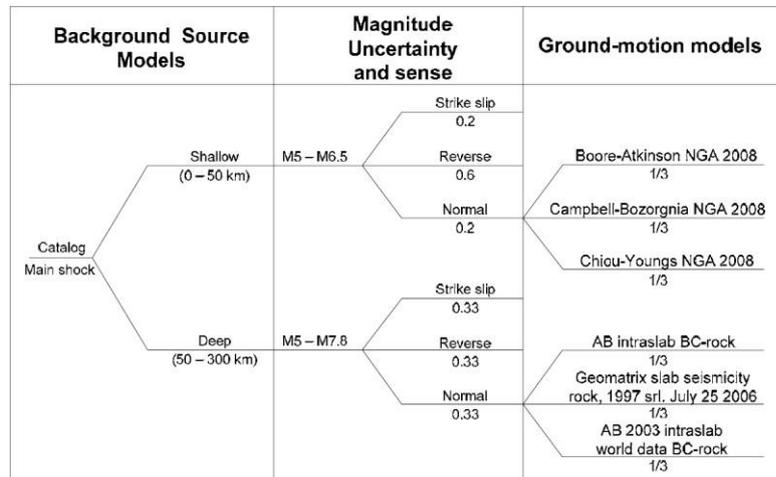
Pemakaian *logic tree* pada PSHA ini diperlukan karena adanya faktor ketidakpastian pada pengolahan data untuk analisis *seismic hazard*.



Gambar 2.5 Model *logic tree* untuk sumber gempa *fault*.



Gambar 2.6 Model *logic tree* untuk sumber gempa subduksi



Gambar 2.7 Model *logic tree* untuk sumber gempa *background*.

2.10 Peak Ground Acceleration (PGA)

Percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) terjadi karena adanya gempa bumi. Percepatan tanah dipengaruhi oleh jarak sumber gempa dengan suatu wilayah, magnitudo gempa, dan kondisi tanah di wilayah tersebut (Kumala dkk., 2018). Prawirodikromo (2012) dalam buku karya Kumala dkk. (2018) mengatakan semakin besar PGA maka gempa bumi tersebut dianggap semakin kuat, mengandung energi yang besar dengan kerusakan yang semakin banyak. *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan hasil dari pengolahan probabilitas *seismic hazard* pada periode ulang tertentu dan frekuensi yang ditampilkan dalam bentuk peta ataupun kurva *hazard*.