

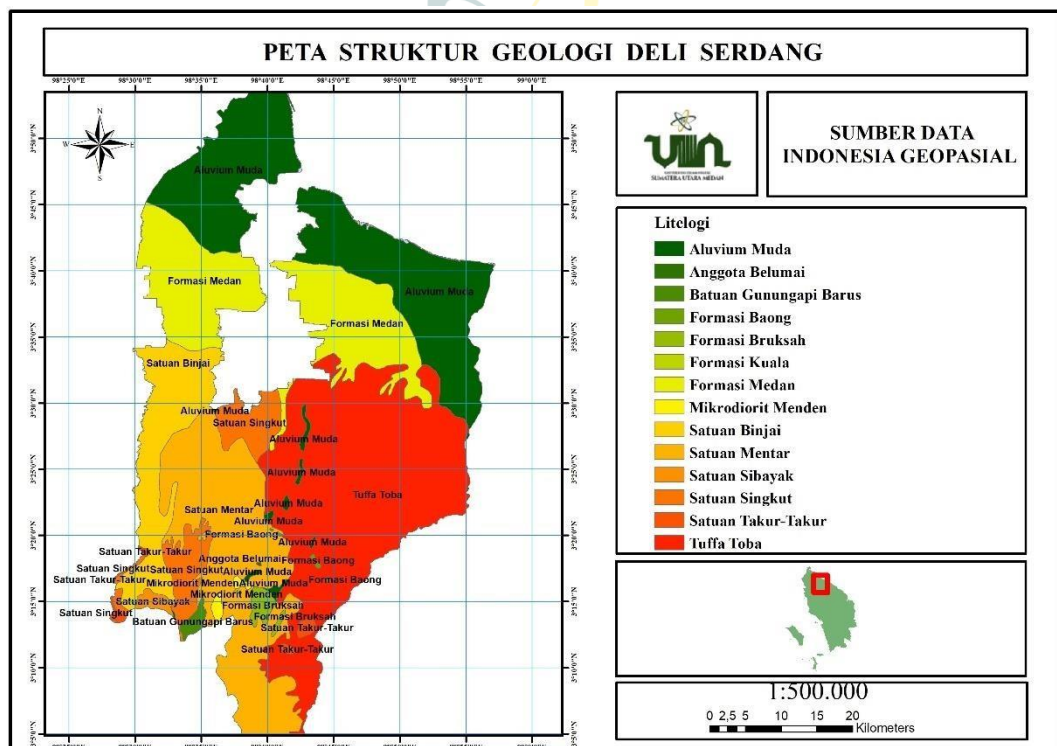
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Geologi dan Tektonik Kabupaten Deli Serdang

Salah satu endapan yang terdapat di wilayah Deli serdang adalah kipas aluvium, umumnya tersusun atas endapan rombakan gunung api, endapan kuarter yaitu aluvium muda, dan satuan singkat satuan inilah yang

mengalami pelapukan sehingga memperkuat getaran pada gempa bumi (Marlyono et al., 2016).



Gambar 2.1 Peta struktur geologi Kabupaten Deli Serdang Kabupaten Deli Serdang merupakan salah satu Kabupaten yang berada di Kawasan Pantai Timur Sumatera Utara. Secara Geografis Kabupaten Deli Serdang berada pada 2°57” Lintang Utara 3°16” Lintang Selatan dan 98°33 - 98°27” Bujur Timur dengan ketinggian 0-500 m di atas permukaan laut sedangkan pada bagian selatan memiliki ketinggian lebih dari 1.000 m di atas permukaan laut. Kabupaten Deli Serdang menempati area seluas 2.497,72 km² yang terdiri dari 22 Kecamatan dan 394 Desa/Kelurahan Definitif.

Deli Serdang merupakan salah satu Kabupaten yang berada di Kawasan

Pantai Timur Sumatera Utara. Secara Geografis Kabupaten Deli Serdang berada pada 2°57" Lintang Utara 3°16" Lintang Selatan dan 98°33 - 98°27" Bujur Timur dengan ketinggian 0-500 m di atas permukaan laut sedangkan pada bagian selatan memiliki ketinggian lebih dari 1.000 m di atas permukaan laut. Kabupaten Deli Serdang menempati area seluas 2.497,72 km² yang terdiri dari 22 Kecamatan dan 394 Desa/Kelurahan Definitif.

Wilayah Deli Serdang pada peta struktur geologi yang terlihat pada gambar 2.1 terdiri dari stratigrafi yaitu :

1. Aluvium Muda adalah lempung, pasir halus, pasir kerikil, atau butir batuan lain yang proses pengendapannya dipengaruhi oleh air mengalir (banjir, arus sungai, arus laut).
2. Anggota Belumai adalah yang terdiri dari batuan andesit, dasit dan piroklastik.
3. Batuan Gunung api Barus adalah bahan padat berupa batuan atau endapan yang berbentuk sebagai akibat kegiatan gunung api, baik secara tidak langsung maupun tidak langsung. Formasi Baong adalah endapan laut dan kaya mineral organik.
4. Formasi Bruksah adalah formasi yang tersusun atas konglomerat, batu pasir, setempat lanau dan batu bara.
5. Formasi Kuala adalah terdiri dari batu pasir, serpih dan batu lanau
6. Formasi Medan adalah sebarannya memanjang dari barat ke timur terdiri dari lempung, lumpur, lanau, pasir, dan sedikit kerikil berwarna abu abu sebagai hasil pengendapan dari batuan gunung api yang terbentuk sebelumnya.
7. Mikrodiorit Menden adalah yang terobosannya terdiri dari mikrodiorit.
8. Satuan Binjai adalah aliran yang bersusunan andesit sampai dasit.
9. Satuan Mentar adalah satuan yang terdiri dari batuan piroklastik, batuan andesit sampai dengan batuan dasit yang berumur miosen awal dan pliosen.
10. Satuan Sibayak adalah satuan yang terdiri dari andesit, dasit dan piroklastika
11. Satuan Singkut adalah satuan yang terdiri dari andesit, dasit, mikrodiorit, tufa.

12. Satuan Takur-Takur adalah bebatuan yang menghasilkan andesit, dasit dan piroplastik.
13. Tuffa Toba adalah jenis batuan piroklastik yang mengandung abu vulkanik yang dikeluarkan selama letusan gunung berapi.

2.2 Gempa Bumi

2.2.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah guncangan di permukaan bumi disebabkan oleh pergerakan yang cepat pada lapisan batuan terluar bumi. Gempa bumi terjadi ketika energi yang tersimpan dalam bumi, biasanya dalam bentuk tegangan pada batuan, secara tiba-tiba terlepas. Energi ini dirambatkan ke permukaan bumi oleh gelombang gempa bumi. Atau dengan kata lain gempa bumi adalah gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tanah yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah.

Menurut Teori *Elastic Rebound* yang dinyatakan oleh Seismolog Amerika, Reid, (Bullen, 1965; Bolt 1985) menyatakan bahwa gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan, yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan *lithosfer*. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang terus-menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba.

2.2.2 Gempa Bumi Menurut Al-Quran

Bencana alam merupakan bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam (BNPB, 2013). Pergerakan lempeng samudera dan benua dalam bentuk tumbukan dan gesekan menimbulkan beberapa zona subduksi dan patahan permukaan. Pergerakan ini akan membebaskan sejumlah energi yang telah terkumpul sekian lama secara tiba-tiba, dimana proses pelepasan energi tersebut menimbulkan getaran gempa bumi (Alfiani, dkk 2015).

Bencana alam yang disebabkan karena peristiwa alamiah adalah gempa bumi. Dampak yang dirasakan untuk manusia juga sangat beragam karena guncangan atau gerakan gempa bumi yang besarnya bervariasi akan menimbulkan banyaknya korban jiwa maupun harta, bangunan-bangunan roboh dan fasilitas umum lainnya akan mengalami kerusakan (Aryanti, dkk 2014).

Dalam firman Allah SWT QS. Al-Zalzalah/1-2: Gempa bumi dalam bahasa Arab dimisalkan dengan Al-Zalzalah dalam arti bahasa, kata Al-Zalzalah dikutip dari *zalla yazallu zallan wa zalalan wa mazallatan* yang maknanya adalah pergerakan yang sangat kuat.

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا (١) وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا (٢)

Artinya : “Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat, dan bumi telah mengeluarkan beban-beban yang berat.” (QS. Az-Zalzalah ayat 1-2).

Dalam surah ini, Allah SWT menggambarkan apa yang terjadi pada hari kiamat di mana saat itu bumi bergoncang begitu dahsyatnya dan meruntuhkan segala yang ada di atasnya. Juga akan diterangkan bagaimanakah setiap amalan baik dan jelek akan menuai balasannya.

Al-Hafizh Ibnu Kathir rahimahullah berkata: “Ibnu Abbas berkata: “Apabila bumi benar-benar digoncang”, yaitu: bergoncang dari dasar paling bawah bumi”. (Tafsir Ibnu Kathir) kita dapat memahami bahwa bumi mengalami guncangan hebat dari inti dasar bumi hingga lapisan luar bumi. Sebuah guncangan dan gempa bumi yang sama sekali belum pernah dirasakan manusia sebelum itu.

Ayat yang kedua berbicara tentang peristiwa kiamat setelah tiupan sangkakala yang membangkitkan manusia dari perut bumi. Adapun apa yang dikeluarkan oleh bumi pada ayat ini, bisa dimungkinkan manusia penghuni kubur atau dimungkinkan pada manusia beserta harta yang terpendam di perut bumi. Kalau yang dikeluarkan dari perut bumi adalah manusia, maka itu perkara yang telah diketahui oleh manusia. Kehebatan yang dikabarkan oleh *Al-qur'an* yaitu getaran kuat yang mampu memusnahkan suatu daerah. Dapat merusak semua wilayah yang artinya alam semesta akan berakhir.

Peristiwa gempa bumi sudah terjadi pada zaman terdahulu bahkan pada zaman nabi. Ada beberapa cerita pada zaman nabi yang mengalami kejadian gempa

bumi, salah satunya penduduk kota Madya yang menolak ajaran kebaikan Nabi Syuaib. Penduduk tersebut pandai menipu dan suka melakukan kejahatan. Ketika nabi Syuaib berdakwah mengajak penduduk tersebut untuk meninggalkan perbuatan buruk namun penduduk tersebut enggan menerima ajaran dakwah dan tetap dengan perilaku mereka. Sehingga Allah SWT memberikan peringatan berupa hawa panas yang tidak bisa dipadamkan selama tujuh hari namun penduduk tersebut tetap dengan perilaku mereka. Kemudian Allah SWT mengirim api sembari menggetarkan bumi, para penduduk ketakutan dan meninggal atas azab yang diberikan Allah SWT.

Dari cerita tersebut Allah SWT mendatangkan bencana gempa bumi kepada orang-orang yang tidak mau mengikuti dakwah nabi dalam menuju kebaikan. Tetapi Allah SWT juga menciptakan wilayah-wilayah yang kondisi geografisnya rawan terhadap gempa bumi. Sehingga tidak semuanya bencana gempa bumi di timbulkan karena perilaku manusia. Timbulnya gempa bumi terjadi atas kehendak Allah SWT baik itu di mana pun, kapan pun, dan tanpa diduga-duga.

2.2.3 Gempa Bumi Menurut Sains

Ilmu pengetahuan tentang gempa telah berkembang cepat sejak periode industrialisasi di paruh kedua abad kesembilan belas. Manusia telah belajar berdasarkan pengalaman serta beradaptasi terhadap pelepasan tiba-tiba energi seismik dari lempengan Bumi. Ilmu pengetahuan tentang gempa mengalami kemajuan yang signifikan terkait seismologi dan teknik gempa.

Gempa bumi adalah tragedi alam yang mampu mempengaruhi kehidupan makhluk di dunia. Tragedi alam yang timbul biasanya terasa singkat dan tidak mudah untuk diprediksi kemunculannya. Gempa bumi ialah getaran yang timbul dipermukaan bumi disebabkan pergerakan lempeng bumi. Umumnya gempa bumi terjadi karena pelepasan energi yang dihasilkan dari tekanan yang timbul dari lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya mendekati kondisi dimana tekanan itu tidak dapat ditahan lagi pergerakannya. Pergerakan kerak bumi terjadi oleh beberapa faktor yaitu letusan gunung berapi,

longsor dibawah permukaan air laut, meteor jatuh ataupun bom nuklir dibawah permukaan tanah.

Pada era saat ini, masih belum tercipta teknologi yang mampu memprediksi kapan munculnya gempa bumi. Namun, teknologi sekarang ada yang mampu memetakan wilayah yang rawan gempa dan merancang bangunan tahan akan gempa. Kemudian manusia juga bisa mengetahui besar kekuatan gempa dari teknologi yang telah dirancang yaitu *seismograph*.

Hal-hal mengenai gempa bumi berdasarkan *Al-qur'an* dan sains menjelaskan kepada kita tentang dua pandangan yang berbeda. Kita harus mampu berpikir dan berhati-hati dalam menilai sebuah kejadian terutama tragedi yang terjadi di lingkungan kita. Tragedi gempa bumi tidak selamanya terjadi sebagai hukuman kepada makhluk yang mendustakan Allah SWT (Qothrunnada et al., 2022).

Syarat terjadinya gempa bumi yaitu terdapat penimbunan *stress* (tegangan) perlahan pada batas pertemuan lempeng, dan batuan juga harus cukup kuat untuk menimbun energi. Ketika syarat tersebut terpenuhi maka terjadilah akumulasi energi hingga batas elastisitas batuan tercapai. Kemudian batas dari elastisitas batuan yang terlewati akan menimbulkan hentakan energi secara tiba-tiba yang disebut sebagai gempa bumi tektonik. Gelombang seismik (*Seismic wave*) yang dihasilkan dari pelepasan energi tersebut akan menjalar ke segala arah. Gelombang yang menjalar tersebut tidak hanya menjalar dipermukaan bumi namun juga menjalar di dalam bumi, bahkan sering kali menjalar melewati inti bumi tempat terjadinya patahan atau pergeseran lapisan batuan disebut sebagai hiposenter. Sedangkan episenter merupakan titik permukaan pada bumi yang tegak lurus dengan hiposenter (Simanjuntak & Olymphina, 2017).

2.2.4 Penyebab Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu fenomena guncangan yang terjadi pada permukaan bumi. Terdapat beberapa jenis gempa bumi berdasarkan penyebabnya, antara lain adalah gempa bumi tektonik, yang diakibatkan oleh pelepasan energi yang terakumulasi di antara dua atau lebih lempeng bumi yang berdempetan (yang masing-masing selalu bergerak hingga 10 cm per tahunnya); gempa bumi vulkanik,

yang diakibatkan oleh aktivitas gunung berapi; gempa bumi runtuh, yang diakibatkan oleh runtuh gua atau tambang bawah tanah; dan gempa bumi ledakan yang diakibatkan oleh ledakan yang besar seperti dari bom nuklir.

Gempa bumi memiliki intensitas yang beragam, mulai dari yang sangat lemah sehingga tidak dapat dirasakan, sampai gempa yang cukup kuat yang dapat melontarkan benda dan manusia ke udara, merusak infrastruktur penting, dan menghancurkan satu kota. Gempa bumi diukur dengan menggunakan alat Seismometer, dan *Moment magnitude* adalah skala yang paling umum digunakan.

Dalam pengertian yang paling umum, kata gempa bumi digunakan untuk menggambarkan peristiwa seismik apa pun, baik yang terjadi secara alami maupun yang disebabkan oleh manusia, yang menghasilkan gelombang seismik. Titik awal terjadinya gempa bumi disebut hiposentrum atau fokus. Episentrum adalah titik di permukaan tanah yang berada tepat di atas hiposentrum. Di permukaan bumi, gempa bumi ditunjukkan dengan guncangan dan pergerakan atau gangguan pada tanah. Ketika pusat gempa bumi besar terletak di lepas pantai, dasar laut dapat bergeser cukup jauh sehingga menyebabkan tsunami. Gempa bumi juga dapat memicu tanah longsor

Aktivitas seismik di suatu daerah adalah frekuensi, jenis, dan ukuran gempa bumi yang dialami dalam kurun waktu tertentu. Seismisitas di lokasi tertentu di Bumi adalah tingkat rata-rata pelepasan energi seismik per satuan volume. Kata tremor digunakan untuk gemuruh seismik non-gempa.

2.2.5 Jenis Gempa Bumi

Menurut Hartuti (2009) Gempa bumi dapat diklasifikasikan dalam beberapa kategori. Berdasarkan proses terjadinya, gempa bumi diklasifikasikan menjadi lima sebagai berikut:

1. Gempa tektonik, yaitu gempa yang terjadi akibat tumbukan lempeng-lempeng di lapisan litosfer kulit bumi oleh tenaga tektonik.
2. Gempa vulkanik, yaitu gempa yang terjadi akibat aktivitas gunung berapi sehingga hanya dapat dirasakan di daerah sekitar gunung berapi tersebut.

3. Gempa runtuhan, yaitu gempa yang terjadi karena runtuhannya tanah atau batuan. Gempa ini sering terjadi di kawasan tambang akibat runtuhnya dinding tambang yang mengakibatkan getaran yang bersifat lokal.
4. Gempa jatuhnya, yaitu gempa yang terjadi sebagai akibat dari jatuhnya benda langit seperti meteor. Meteor yang jatuh ini mengakibatkan getaran pada permukaan bumi jika massa meteor cukup besar.
5. Gempa buatan, yaitu gempa yang sengaja dibuat oleh manusia. Gempa ini sebagai akibat dari kegiatan manusia seperti percobaan peledakan nuklir bawah tanah ataupun ledakan dinamit di bawah permukaan bumi yang menimbulkan efek getaran.

Menurut Suharjanto (2013) sebagian besar gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempeng yang bergerak. Dengan kata lain bahwa gempa tektonik merupakan gempa dengan intensitas yang sering bila dibandingkan dengan klasifikasi gempa lainnya. Gempa bumi biasanya terjadi pada daerah perbatasan lempengan.

2.2.6 Ukuran Kekuatan Gempa

Ukuran kekuatan gempa dapat dinyatakan dalam skala Richter (M) atau skala *Modified Mercalli* (MMI). Skala Richter mengukur Magnitude gempa berdasarkan amplitudo yang terjadi sehingga lebih objektif. Sedangkan skala Modified Mercalli mengukur Intensitas gempa berdasarkan efeknya terhadap manusia atau bangunan sehingga lebih bersifat subjektif. *Magnitude* (M) menunjukkan perbandingan amplitudo A pada jarak 100 km dari epicenter dengan amplitudo standar $A_0 = 0,001$ mm dalam skala logaritma.

$$M = \text{Log}_{10} \frac{A}{A_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

Sedangkan energi E yang dilepaskan oleh gempa berskala M Richter adalah :

$$\text{Log}_{10} E = 11,4 + 1,5M \dots\dots\dots(2.2)$$

Berikut ini adalah sebuah tabel yang menggambarkan tingkatan magnitudo dan kekuatan gempa, pengaruh-pengaruhnya, serta perkiraan jumlah gempa, yang

terjadi setiap tahunnya. Hanya gempa-gempa dengan $M \geq 5$ Yang perlu ditinjau dalam perencanaan struktur.

Tabel 2.1 Hubungan antara magnitudo dan kelas gempa

Magnitudo Gempa	Kelas Kekuatan Gempa	Pengaruh Gempa	Perkiraan Kejadian Tahun
< 2,5	<i>Minor earthquake</i>	Pada umumnya tidak dirasakan, tetapi dapat direkam oleh seismograf	900.000
2,5 s/d 4,9	<i>Light earthquake</i>	Selalu dapat dirasakan, tetapi hanya menyebabkan kerusakan kecil	30.000
5,0 s/d 5,9	<i>Moderate earthquake</i>	Menyebabkan kerusakan pada bangunan dan struktur-struktur yang lain	500
6,0 s/d 6,9	<i>Strong earthquake</i>	Kemungkinan dapat menyebabkan kerusakan besar, pada daerah dengan populasi tinggi	100
7,0 s/d 7,9	<i>Major Earthquake</i>	Menimbulkan kerusakan yang serius	20

<i>Great earthquake</i>	Dapat menghancurkan daerah yang dekat dengan pusat gempa	Satu setiap 5-10 tahun
-------------------------	--	------------------------

Karena skala *Mercalli* bersifat subjektif, maka untuk suatu kerusakan yang diakibatkan oleh gempa, pengamatan yang dilakukan oleh beberapa orang akan mempunyai pendapat yang berbeda mengenai tingkat kerusakan yang terjadi. Berikut ini tingkatan dengan skala MMI dalam tabel berikut :

Tabel 2.2 Tingkatan skala MMI

Magnitude	Intensitas (MMI)	Pengaruh-pengaruh Tipikal
≤ 2	I – II	Pada umumnya tidak terasa
3	III	Terasa di dalam rumah, tidak ada kerusakan
4	IV – V	Terasa oleh banyak orang, barang-barang bergerak, tidak ada kerusakan structural
5	VI – VII	Terjadi beberapa kerusakan struktural, seperti retak-retak pada dinding
6	VII – VIII	Kerusakan menengah, seperti hancurnya dinding
7	IX – X	Kerusakan besar, seperti runtuhnya bangunan
8	XI – XII	Rusak total atau hampir hancur total

Skala *Modified Mercally* yaitu pengukuran intensitas gempa berdasarkan efek yang ditimbulkan terhadap manusia dan bangunan sehingga lebih bersifat subjektif (Irawan et al., 2020).

SIG adalah Skala Intensitas Gempa bumi. Skala ini menyatakan dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gempa bumi. Skala Intensitas Gempa bumi (SIGBMKG) digagas dan disusun dengan mengakomodir keterangan dampak gempa bumi berdasarkan tipikal budaya atau bangunan di Indonesia. Skala ini disusun lebih sederhana dengan hanya memiliki lima tingkatan yaitu I-V. SIGBMKG diharapkan bermanfaat untuk digunakan dalam penyampaian informasi terkait mitigasi gempa bumi dan atau respon cepat pada kejadian gempa bumi merusak. Skala ini dapat memberikan kemudahan kepada masyarakat untuk dapat memahami tingkatan dampak yang terjadi akibat gempa bumi dengan lebih baik dan akurat.

Tabel 2.3 Skala Intensitas gempa bumi Menurut BMKG (BMKG, 2023)

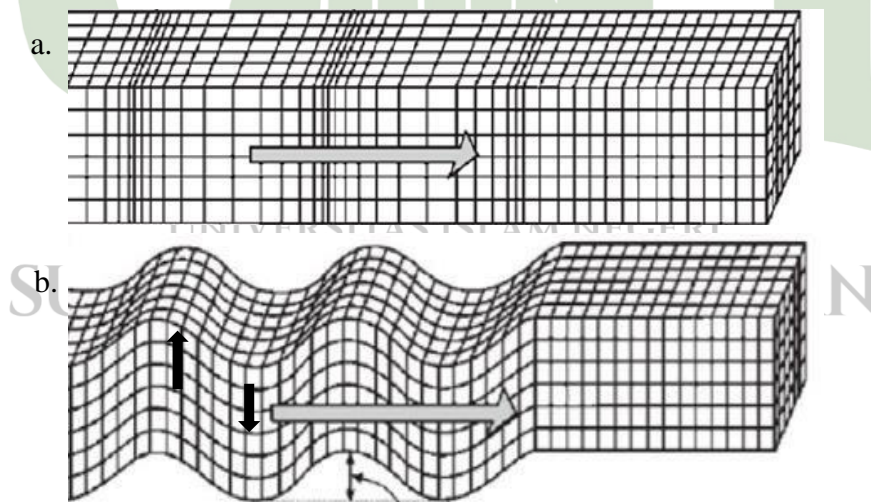
Skala SIG-BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak dirasakan	Tidak dirasakan atau dapat dirasakan hanya beberapa orang dan terekam oleh alat	I - II	< 2,9
II	Hijau	Dirasakan	Dirasakan oleh orang banyak namun tidak mengalami kerusakan, jendela kaca bergetar dan benda ringan yang bergantung bergoyang	III -V	2,9 – 88
III	Kuning	Kerusakan ringan	Bagian nonstruktural bangunan hanya mengalami kerusakan ringan, seperti dinding retak, atap bergeser ke bawah, dan separuhnya roboh.	VI	89 – 167
IV	Jingga	Kerusakan sedang	Kaca pecah, banyak retakan pada dinding bangunan sederhana, dan struktur bangunan rusak ringan sampai sedang	VII - VIII	168 – 564

V	Merah	Kerusakan berat	Sebagian bangunan permanen roboh serta Struktur bangunannya rusak berat	IX - XII	> 564
---	-------	-----------------	---	----------	-------

2.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi, sehingga membutuhkan medium untuk menjalar. Gelombang seismik dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

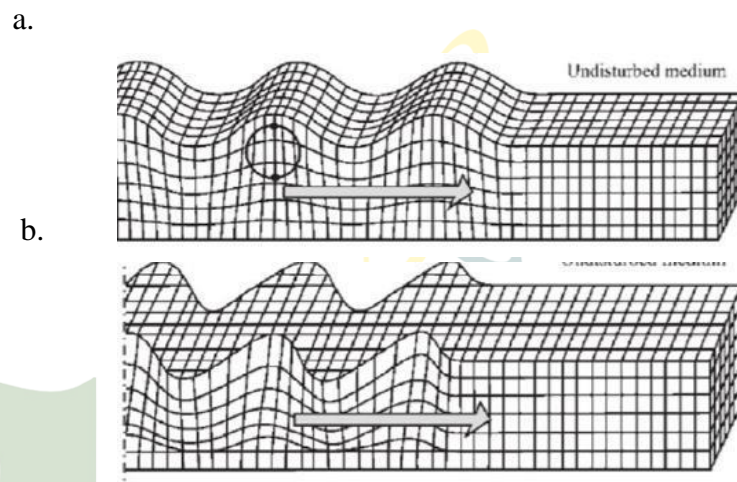
- Gelombang badan (*body wave*). Gelombang badan menjalar di dalam bumi dan terbagi dua kelompok yaitu gelombang primer (P) dan gelombang Sekunder (S). gelombang P merupakan gelombang longitudinal karena simpangannya sejajar dengan arah penjarannya (Gambar 2.2 bagian a). Gelombang P dapat menjalar pada semua medium baik padat, cair, maupun gas. Sedangkan gelombang S adalah gelombang transversal (*shear wave*) karena memiliki simpangan tegak lurus terhadap arah rambatnya (Gambar 2.2 bagian b). Gelombang S tiba setelah gelombang P sehingga gelombang tercatat setelah gelombang P pada *seismograph*. Gelombang S hanya bisa merambat pada medium padat tidak dengan fluida (Arintalofa et al., 2020).



Gambar 2.2 a). Ilustrasi gelombang primer (P). b). Ilustrasi gelombang sekunder (S)

- Gelombang permukaan (*surface wave*) yang menjalar dipermukaan bumi dan merambat lebih pelan dari gelombang badan, tapi kerusakan yang ditimbulkan lebih besar. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua, yaitu

gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*. Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang permukaan yang gerakan partikel medianya merupakan kombinasi gerakan yang disebabkan oleh gelombang primer dan gelombang sekunder (Gambar 2.2 bagian a). Sedangkan Gelombang *Love* adalah gelombang yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal, yaitu gelombang sekunder yang penjaralannya sejajar dengan permukaan (Gambar 2.2 bagian b) (Putra & Saputra, 2022).



Gambar 2.3 a). Ilustrasi gelombang *Rayleigh*. b). Ilustrasi gelombang *Love*

2.4 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Penelitian dengan menggunakan mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi). Mikrotremor memiliki frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi. Perekaman mikrotremor yakni *array based (f-k methods, SPAC/Spacial Auto Correlation dan Refraction Mikrotremor)* dan *HVSR/Nakamura Methods*.

2.5 Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Analisis dengan HVSR dikenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi (1971) yang selanjutnya di kembangkan oleh Nakamura (1989). Konsep dasar metode HVSR adalah adanya kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan transfer

gelombang dari batuan dasar ke permukaan (Nakamura, 1989). Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi dominan dan amplifikasi tanah yang merupakan nilai puncak kurva HVSR, berkaitan dengan geologi setempat dan parameter fisik bawah permukaan. (Sungkono dan Santosa, 2011). Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga dianggap sebagai nilai frekuensi dari suatu lapisan batuan yang tersusun di suatu area, dengan kata lain frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan di satu area. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat pada suatu medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Nakamura (1989) menghitung rasio antara spektrum horizontal dan vertikal pada getaran ambient yang direkam dengan sensor seismik stasiun tunggal tiga komponen dengan persamaan sebagai berikut (Hobiger dkk., 2009):

$$H/V(f) = \sqrt{\frac{|E(f)|^2 + |N(f)|^2}{\sqrt{2}|Z(f)|^2}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$E(f)$ = spektrum pada horizontal *East-West*

$N(f)$ = spektrum pada *North-South*

$Z(f)$ = spektrum vertikal.

2.6 Software Geopsy

Software *Geopsy* adalah perangkat lunak yang dirancang untuk memudahkan analisis data seismik dan pemrosesan sinyal dalam konteks bidang geoteknik. Software ini memiliki berbagai fitur yang dapat digunakan untuk mengolah, memvisualisasikan dan menganalisis data seismik untuk memahami sifat geologis dan dinamik dari struktur bangunan dan tanah. Salah satu fitur utama dari software *geopsy* adalah untuk melakukan proses sinyal seismik. Software ini dapat memfilter dan menganalisis data seismik, serta melakukan komputasi dan tindakan pemrosesan yang diperlukan untuk menghasilkan untuk menghasilkan

hasil yang akurat. Pengguna dapat mengimpor data seismik dari berbagai sumber seperti stasiun seismik atau perekam geoteknik, dan kemudian melakukan pemrosesan sinyal untuk menganalisis noise dan memfilter data yang diinginkan.

Software *Geopsy* menawarkan alat dan Teknik khusus untuk melakukan analisis frekuensi respon. Dengan menggunakan fitur tersebut, pengguna dapat memperoleh informasi tentang spektrum frekuensi, fungsi transfer, respon frekuensi, dan daya respon terkait struktur tanah maupun bangunan. Fitur ini memungkinkan mereka untuk mempelajari karakteristik dinamik tanah serta dampaknya terhadap kestabilan dan performa struktur saat terjadi gempa bumi atau getaran dari struktur. Secara singkat, *Geopsy* merupakan aplikasi yang sangat berguna untuk digunakan para peneliti di bidang geoteknik dan seismik. Dengan software tersebut, para peneliti dapat memanfaatkan beragam fitur dan kemampuan dalam menganalisis dan memproses data seismik untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dalam perancangan struktur yang aman dan tahan gempa.

2.7 Frekuensi Dominan

Nilai frekuensi natural dari pengolahan HVSR menyatakan frekuensi alami yang terdapat di daerah tersebut. Hal ini menyatakan bahwa apabila terjadi gempa atau gangguan berupa getaran yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut. Nilai frekuensi natural (f_0) suatu wilayah menurut Mucciarelli dan Gallipoli (2001) didukung oleh beberapa faktor, yaitu ketebalan lapisan lapuk dan kecepatan rata-rata bawah permukaan (V_s), sehingga dapat ditulis dengan:

$$f_0 = V_s/4H \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana

f_0 = frekuensi natural

V_s = nilai rata-rata kecepatan gelombang geser pada kedalaman sampai dengan 30 meter dari permukaan

H = ketebalan lapisan lapuk

Berdasarkan persamaan (2.4), ketebalan lapisan lapuk adalah :

$$H = \frac{V^s}{4fo} \dots\dots\dots(2.5)$$

Tabel 2.4 Klasifikasi Nilai Frekuensi Dominan

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,67-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (hard sandy gravel) batuan alluvial dengan ketebalan 5 meter	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	4,6-6,7	Terdiri dari pasir berkerikil (sandy hard clay), tanah liat, lempung (loam) dan sebagainya	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah yaitu 5–10 meter.
Jenis III	2,5-4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, yaitu sekitar 10–30 meter.
Jenis IV	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, tanah lunak, dan lain-	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

lain yang tergolong dalam tanah lembek dengan kedalaman 30 meter.

2.8 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan nilai amplitudo maksimum yang didapatkan dari pengolahan data mikroseismik. Tabel 2 menunjukkan klasifikasi amplifikasi berdasarkan besarnya nilai amplifikasi suatu daerah (Setiawan, J.R., 2009).

Tabel 2.5 Klasifikasi nilai amplifikasi

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A_o < 3$
2	Sedang	$3 \leq A_o < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A_o < 9$
4	Sangat Tinggi	$A_o \geq 9$

Amplifikasi pada gelombang seismik dapat disebabkan ketika suatu benda yang memiliki frekuensi diri, kemudian diusik oleh gelombang lain dengan frekuensi yang sama. Amplifikasi gelombang gempa bisa terjadi ketika gelombang merambat ke permukaan tanah dimana frekuensi natural (f_o) tanah tersebut memiliki nilai frekuensi yang hampir sama atau sama dengan frekuensi gempa yang datang. Amplifikasi merupakan peristiwa penguatan suatu gelombang ketika melewati suatu medium tertentu. Perbandingan antara karakteristik sinyal horizontal terhadap sinyal vertikal berbanding lurus dengan penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium.

2.9 Transformasi Fourier

Pada pertengahan 1960 J.W Cooley dan J.W. Tukey, merumuskan Teknik perhitungan *Fourier Transform* yang efisien yang disebut dengan *Fast Fourier*

Transform (FFT). Transformasi Fourier adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisis spektrum sinyal dengan tujuan mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Tujuan dari transformasi ini adalah untuk mempermudah perhitungan yang dilakukan dalam domain frekuensi dibandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika secara erat terkait dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena-fenomena tersebut.

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu metode yang efisien untuk menghitung *discrete fourier transform (DFT)*. DFT digunakan untuk memecah rangkaian nilai menjadi komponen frekuensi yang berbeda. *Transformasi Fourier* kontinu dari fungsi waktu $f(t)$ dapat dirumuskan sebagai berikut

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana $F(\omega)$ merupakan fungsi dalam bentuk domain frekuensi sedangkan $f(t)$ adalah fungsi dalam domain waktu dan ω adalah frekuensi radial $2\pi f$. *Spektrum Fourier* pada dasarnya mengidentifikasi komponen spectral dari suatu sinyal, termasuk amplitudo yang tidak berubah seiring waktu dan fase yang terkait, yang ada dalam sinyal selama periode perekaman.

2.10 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Salah satu parameter yang dinilai dalam pengukuran mikroseismik pada mikrozonasi gempa adalah indeks kerentanan tanah (K_g). Nakamura (1989) menyatakan, Indeks Kerentanan (K_g) suatu wilayah mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi. Nilai kerentanan (K_g) dapat dicari dengan persamaan:

$$K_g = \frac{A_{02}}{f_0} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan A_0 dan f_0 adalah amplitudo (faktor amplifikasi) dan frekuensi natural. Nilai Indeks kerentanan seismik (K_g) atau sering disebut sebagai indeks

kerentanan gempa menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempabumi. Berdasarkan rumus dan perhitungan yang telah dilakukan, maka nilai dari indeks kerentanan gempa sangat dipengaruhi oleh amplitudo maksimum dan frekuensi natural. Ketika nilai amplitudo besar dan nilai frekuensi natural kecil, maka nilai dari indeks kerentanan gempa akan semakin besar. sebaliknya, jika nilai amplitudo kecil dan nilai frekuensi natural besar, maka nilai dari indeks kerentanan gempa akan semakin kecil.

Tabel 2.6 Klasifikasi Nilai Kerentanan Seismik

Zona	Nilai Kg
Rendah	<3
Sedang	3-6
Tinggi	>6

2.11 Penelitian Relevan

Nia, Hakim, Danang (2019) Dalam penelitian yang dilakukan, analisis amplifikasi dan indeks kerentanan seismik dikawasan FMIPA UGM menggunakan metode HVSR, dilakukan menggunakan analisis mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini digunakan untuk menentukan nilai frekuensi natural, indeks kerentanan seismik, dan pemetaan parameter kerentanan seismik. Berdasarkan data penelitian, frekuensi alami dikawasan FMIPA UGM berkisar antara 0,636-0,943Hz. Dan menunjukkan bahwa lokasi ini berada pada klasifikasi tanah tipe 1 jeni IV, dimana tersusun atas batuan alluvial. Apabila terjadi gempa bumi, amplifikasi dan indeks kerentanan seismik tertinggi terjadi disekitar titik T15 yang berdekatan dengan gedung matematika FMIPA UGM.