

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PERCEPATAN MAKSIMUM GEMPA
DARI BATUAN DASAR KE PERMUKAAN
TERHADAP POTENSI LIKUEFAKSI DI RUMAH
SAKIT UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
(*EFFECT OF MAXIMUM EARTHQUAKE
ACCELERATION FROM BEDROCK TO SURFACE ON
LIQUEFACTION POTENTIAL AT ISLAMIC
UNIVERSITY HOSPITAL INDONESIA*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Najma Aflah Madani
19511140**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PERCEPATAN MAKSIMUM GEMPA
DARI BATUAN DASAR KE PERMUKAAN
TERHADAP POTENSI LIKUEFAKSI DI RUMAH
SAKIT UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
(EFFECT OF MAXIMUM EARTHQUAKE
ACCELERATION FROM BEDROCK TO SURFACE ON
LIQUEFACTION POTENTIAL AT ISLAMIC
UNIVERSITY HOSPITAL INDONESIA)**

Disusun oleh



Najma Aflah Madani
19511140

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana
Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 25 Oktober 2023

Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Penguji II

Pembimbing

Iva Kusuma Artati, S.T., M.T.
45110407

Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK: 215111305

Muhammad Rifqi A. S.T., M.Eng.
NIK: 35111101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Jr. Yupalia Muntali, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 14 September 2023

Yang membuat pernyataan,



Najma Aflah Madani
(19511140)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberi rahmat ,taufik serta hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.Shalawat serta salam selalu terlimpah curahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga *yaumul akhir* .

Dalam menyusun Tugas Akhir ini banyak sekali hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran dan kritik dari berbagai pihak, tak lupa penulis mengucap rasa syukur Tugas Akhit ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah mengerahkan waktu,tenaga, saran dan nasihat untuk membimbing penulis hingga selesai dengan penuh kesabaran sehingga penulis dapat mengejarkan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan banyak masukan dan saran dalam penulisan saat sidang Tugas Akhir ini.
3. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II yang memberikan banyak masukan dan saran dalam penulisan saat sidang Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan motivasi, biaya dan doa tiada henti hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen, asisten, laboran, serta staff dan karyawan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan yang telah memberikan banyak ilmu dan fasilitas penulisan dalam masa perkuliahan dan serta semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

7. Teman-teman penulis yang telah memberikan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Ira Hesti Hermawan yang telah memberi banyak bantuan, dukungan, dan motivasi sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang telah membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 14 September 2023



Najma Aflah Madani

(19511140)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Keaslian Penelitian	10
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Gempa Bumi	13

3.1.1 Sejarah Gempa di Indonesia	14
3.1.2 Klasifikasi Gempa	15
3.1.3 Klasifikasi gempa menurut kedalaman hiposentrum	16
3.1.4 Gambaran Kondisi Tektonik Indonesia	17
3.1.5 Zona Subdiksi Jawa	25
3.1.6 Kondisi Geologi di Yogyakarta	26
3.1.7 Magnitude Gempa	29
3.2 Identifikasi sifat dan lokasi sumber gempa	32
3.3 Konversi Magnitudo	34
3.3.1 Konversi M_b ke dalam M_w	34
3.3.2 Konversi M_s ke dalam M_w	36
3.3.3 Konversi M_L ke dalam M_w	36
3.4 Intensitas Gempa	37
3.4 Percepatan Tanah Maksimum	39
3.5 Pengaruh Percepatan Tanah	42
3.6 Periode Dominan Tanah	43
3.7 Penentuan Percepatan Gempa menurut SNI 1726-2019	43
3.8 Fungsi Atenuasi	45
3.9 Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)	45
3.10 Likuefaksi	46
3.10.1 Faktor Terjadinya Likuefaksi	48
3.10.2 Syarat Terjadinya Likuefaksi	49
3.11 Metode Evalasi Potensi Likuefaksi	49
3.11.1 Analisis Nilai SPT	49

3.12 Metode Youd-Idriss (2001)	51
3.13 EERA (<i>Equivalent-linear Earthquake Response Analyses</i>)	54
BAB IV METODE PENELITIAN	56
4.1 Pengumpulan Data Penelitian	56
4.2 Instrumen Penelitian	56
4.3 Lokasi Penelitian	56
4.4 Analisis Data	57
4.5 Diagram Alir Penelitian	58
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	59
5.1 Analisis Percepatan Gempa dengan Metode DSHA di Yogyakarta	59
5.1.1 Data Umum	59
5.1.2 Data Tanah	59
5.1.3 Klasifikasi Situs	61
5.1.4 Respon Spektrum	64
5.2 Analisis DSHA untuk Rumah Sakit UII Yogyakarta	68
5.2.1 Jarak Patahan ke Rumah Sakit UII Yogyakarta	68
5.2.2 Controlling Earthquake dengan persamaan atenuasi	69
5.2.3 Penentuan PGA berdasarkan faktor amplifikasi	71
5.2.4 Analisis Potensi Likuefaksi	73
5.2.5 Analisis data SPT	73
5.2.6 Analisis data gempa menggunakan <i>EERA</i>	94
5.2.7 Output Percepatan	97
5.3 Pembahasan	101

BAB VI ANALISIS DAN PEMBAHASAN	105
6.1 Kesimpulan	105
6.2 Saran	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Percepatan Puncak (PGA) untuk Probabilitas 110% dalam 50 tahun	4
Gambar 2. 2 Peta respon spektra Probabilitas 110% dalam 50 tahun	4
Gambar 2. 3 Peta batuan dasar PGA Pulau Jawa selama 2475 tahun menggunakan PSHA USGS	6
Gambar 2. 4 Bedrock PGA Pulau Jawa dengan kala ulang 2475 tahun menggunakan Open Quake	6
Gambar 2. 5 Peta kerentanan gempa bumi Kota Cilacap Jawa Tengah	8
Gambar 3. 1 Peta Gempa Indonesia (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	15
Gambar 3. 2 Peta tektonik wilayah Indonesia (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	15
Gambar 3. 3 Perhitungan laju geser Sesar Cimandri (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	19
Gambar 3. 4 Perhitungan laju geser Sesar Lembang (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	20
Gambar 3. 5 Kenampakan Sesar Opak (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	23
Gambar 3. 6 Fisiografi Yogyakarta	27
Gambar 3. 7 Sebaran <i>Aftershocks</i> gempa Sesar Opak (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	28
Gambar 3.8 Hubungan antara spektra percepatan dengan periode getar gelombang (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)	29

Gambar 3. 9 Diagram Demonstrasi Nomogram Metode Richter (The Richter Scale)	30
Gambar 3.10 Arah gerak batuan pada berbagai macam patahan (ilmugeografi)	33
Gambar 3.11 Hubungan antara M_b dan M_w	35
Gambar 3.12 Hubungan antara M_s dan M_w	36
Gambar 3.13 Hubungan antara M_L dan M_w	37
Gambar 3.14 Profil Tanah EERA	54
Gambar 3.15 Output Percepatan Tanah	55
Gambar 4. 1 Peta Wilayah Yogyakarta (USGS)	56
Gambar 5. 1 Lampiran Lokasi RS UII BM-01	59
Gambar 5. 2 Lampiran Lokasi RS UII BM-02	60
Gambar 5.3 Parameter Gerakan Tanah Ss menurut SNI 1726-2019	64
Gambar 5.4 Parameter Gerakan Tanah S1 menurut SNI 1726-2019	64
Gambar 5.5 Grafik Respon Spektrum	67
Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum	68
Gambar 5.7 Jarak Patahan ke Rumah Sakit UII	69
Gambar 5.8 Percepatan Gempa Maksimum Gempa	72
Gambar 5.9 Lapisan Tanah BM-01	74
Gambar 5.10 Lapisan Tanah BM-02	75

Gambar 5.11 Worksheet untuk data gempa aplikasi EERA	95
Gambar 5.12 Worksheet Profil Tanah Untuk Rumah Sakit UII BM-01	96
Gambar 5.13 Output Dari Profil Tanah Rumah Sakit UII BM-01	96
Gambar 5.14 Worksheet Profil Tanah Untuk Rumah Sakit UII BM-02	97
Gambar 5.15 Output Dari Profil Tanah Rumah Sakit UII BM-02	97
Gambar 5.16 Hasil Percepatan Tanah Rumah Sakit UII BM-01	98
Gambar 5.17 Hasil Percepatan Tanah Rumah Sakit UII BM-02	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1 Pembagian segmen Sesar Cimandri	19
Tabel 3.2 Pembagian segmen Sesar Lembang	20
Tabel 3.3 Pembagian segmen Sesar Baribis	21
Tabel 3.4 Pembagian segmen Sesar Opak	23
Tabel 3.5 Sesar Aktif di Jawa	23
Tabel 3.6 Magnitudo, Efek Karakteristik, Frekuensi dan Skala MMI Gempa Bumi (Calvi & Pinho, 2006)	38
Tabel 3.7 Resiko Gempa Bumi (Calvi & Pinho, 2006)	41
Tabel 3.8 Faktor Koreksi Borehole, Sampler dan Rod	50
Tabel 3.9 SPT Hammer Efficiency	51
Tabel 5.1 Data SPT Tanah	60
Tabel 5.2 Klasifikasi tanah berdasarkan SNI 1726-2019	61
Tabel 5.3 Rekapitulasi hasil perhitungan nilai \bar{N}	62
Tabel 5.4 Korelasi antara V_s dengan SPT	63
Tabel 5.5 Koefisien Situs (F_a)	65
Tabel 5.6 Koefisien Situs (F_v)	65
Tabel 5.7 Rekapitulasi Magnitude Maksimum dan Jarak Sumber	69
Tabel 5.8 Koefisien	71
Tabel 5.9 Koefisien Situs	72
Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analisis tegangan Efektif Vertikal (σ'_v)	77
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai N_{60}	98
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Analisis Potensi Likuefaksi Pada Titik BM-01 dengan Metode Youd- Idriss (2001)	100
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Potensi Likuefaksi Pada Titik BM-02 dengan Metode Youd- Idriss (2001)	101

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L-1. Lokasi Titik BM-01 DAN BM-02 RS UII	113
Tabel L-2.1 Geological Drill Log (BM-01)	114
Tabel L-2.2 Geological Drill Log (BM-02)	115
Tabel L-2.3 N-SPT BM-01	116
Tabel L-2.4 N-SPT BM-02	117

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	= Percepatan getaran, g
r	= Jarak terdekat patahan dari titik tuju, km
M_s	= Magnitude surface
M_b	= Magnitude body
M_L	= Magnitude lokal
M_w	= Magnitude Momen
Δ	= Jarak dari stasiun ke pencatat gempa
T	= Periode
M_o	= Seismic momen
SPT	= <i>Standart Penetration Test</i>
V_s	= Kecepatan rambat gelombang geser
\bar{N}	= Nilai hasil tes penetrasi standar
S_u	= Kuat geser niralir
BM-01	= Titik acuan pengukuran 01
BM-02	= Titik acuan pengukuran 02
S_1	= Parameter kecepatan respons spektral MCE dari peta gempa periode 1 detik
S_s	= Parameter kecepatan respons spektral MCE dari peta gempa periode pendek
S_{DS}	= Parameter kecepatan respons spektral periode pendek
S_{D1}	= Parameter kecepatan respons spektral periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{M1}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang yaitu pada periode 1 detik
S_a	= Respon spektra percepatan
PGA	= Percepatan muka tanah puncak
PGA_M	= Percepatan muka tanah puncak yang sudah disesuaikan akibat kelas situs
DSHA	= <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis</i>
CSR	= Cyclic Stress Ratio
CRR	= Cyclic Resistance Ratio
rd	= Koefisien tegangan reduksi
FS	= <i>Safety Factor</i>
σ	= Total tegangan, kN/m ²
σ'	= Total tegangan efektif, kN/m ²
u	= Tekanan air pori, kN/m ²

ABSTRAK

Di Yogyakarta pernah terjadi gempa besar yang mengguncang Yogyakarta dan sekitarnya yaitu gempa yang terjadi pada tahun 2006. Gempa ini memiliki kekuatan sebesar $6,3 M_w$ yang menyebabkan berbagai kerusakan infrastruktur dan banyaknya korban jiwa. Salah satu penyebabnya yaitu karena adanya Sesar Opak. Gempa bumi itu sendiri merupakan bencana yang tidak bisa di prediksi kapan akan terjadinya bencana. Peneliti mencoba analisis percepatan maksimum gempa di permukaan karena untuk memperoleh nilai percepatan maksimum gempa (a_{max}) yang nantinya digunakan untuk analisis CSR sehingga diketahui potensi likuefaksi di Rumah Sakit UII.

Penelitian ini dilakukan di 2 titik acuan di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia dengan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) untuk mencari percepatan maksimum gempa (a_{max}). Tujuan dari analisis yaitu nilai percepatan maksimum gempa (a_{max}) digunakan untuk menganalisis nilai CSR sehingga potensi likuefaksi di Rumah Sakit UII bisa diketahui. Analisis ini dilakukan karena Rumah Sakit UII berada di selatan Pulau Jawa yang memiliki potensi gempa yang cukup tinggi dan berpotensi mengalami likuefaksi pada lapisan tanah yang memiliki butir-butir halus dan seragam (tanah pasir) di lokasi ini.

Hasil penelitian yang didapat pengaruh a_{max} terhadap potensi likuefaksi dengan metode DSHA yaitu percepatan maksimum gempa bisa dilihat pada setiap lapisan tanah dan percepatan puncak berada pada 0,56g untuk BM-01 dan 0,58g untuk BM-02, selisih percepatan maksimum gempa di permukaan dari metode DSHA dengan SNI 1726-2019 yaitu 0,06g untuk BM-01 dan 0,08g untuk BM-02.

Kata Kunci : Gempa Bumi, PGA, Likuefaksi

ABSTRACT

In Yogyakarta, a significant seismic event transpired, notably the earthquake of 2006, which had a magnitude of 6.3 on the Moment Magnitude Scale (M_w). This seismic event resulted in substantial damage to infrastructure and a considerable loss of lives. The Opak Fault was identified as one of the contributing factors to this earthquake. It is imperative to note that earthquakes are inherently unpredictable phenomena. Researchers endeavored to ascertain the maximum surface acceleration (a_{max}) of this earthquake. This a_{max} value plays a pivotal role in conducting a Cyclic Stress Ratio (CSR) analysis, with the aim of assessing the liquefaction potential at the Islamic University of Indonesia (UII) Hospital

This investigation was conducted at two designated reference points within the UII Hospital premises, employing the Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) methodology. The rationale behind this a_{max} analysis lies in its application to CSR calculations, facilitating an understanding of the liquefaction susceptibility at UII Hospital. This inquiry was particularly pertinent due to the geographical location of UII Hospital, situated in the southern region of Java Island. This area is characterized by a relatively high seismic risk and exhibits the propensity for liquefaction in strata consisting of fine and homogenous grains, notably sandy soils.

The results of the research obtained are the effect of a_{max} on liquefaction potential using the DSHA method, namely that the maximum earthquake acceleration can be seen in each layer of soil and the peak acceleration is 0.56g for BM-01 and 0.58g for BM-02, the difference in maximum earthquake acceleration on the surface from the DSHA method with SNI 1726-2019, namely 0.06g for BM-01 and 0.08g for BM-02.

Keywords : *Earthquake, PGA, Liquefaction*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut BNPB, secara geografis Indonesia merupakan negara yang sering mengalami gempa bumi, Indonesia berada dititik rawan bencana karena Indonesia dikepung oleh lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Ketika lempeng ini bergeser bisa menimbulkan gempa bumi bahkan bisa menimbulkan tsunami jika terjadi tumbukan antar lempeng tektonik. Selain itu Indonesia terletak di kawasan cincin api (*Ring of Fire*) dan diantara dua lintasan pegunungan yaitu Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania yang mempunyai banyak gunung berapi yang menyebabkan banyak terjadi gempa.

Menurut BMKG, gempa bumi adalah peristiwa getaran atau benturan yang terjadi di permukaan bumi dan menyebabkan perpindahan tanah akibat aktivitas tektonik bawah tanah. Peristiwa ini secara tidak langsung mempengaruhi bentuk dan struktur permukaan bumi yang merupakan kumpulan butir-butir mineral dengan ikatan antar partikel yang lemah. Oleh karena itu, tanah secara halus berubah karena guncangan dan tekanan yang disebabkan oleh gempa.

Gempa bumi yang disebabkan karena interaksi lempeng tektonik dapat menimbulkan gelombang pasang apabila terjadi di samudera. Dengan wilayah yang sangat dipengaruhi oleh pergerakan lempeng tektonik, Indonesia mengalami banyak Tsunami seperti Tsunami Aceh pada tahun 2004.

Penelitian ini dilakukan dikarenakan Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya memiliki potensi untuk terjadinya gempa seperti gempa Yogya yang terjadi pada tahun 2006, sehingga ketika terjadi gempa ada kemungkinan mengubah nilai percepatan tanah maksimum. Dari beberapa faktor diatas, percepatan tanah maksimum adalah parameter yang perlu dikaji guna mengetahui taraf resiko terjadinya bencana gempa bumi yang terjadi dalam suatu wilayah, maka penulis mengambil judul **Pengaruh Percepatan Maksimum Gempa dari Batuan Dasar ke Permukaan Terhadap Potensi Likuefaksi di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.**

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana nilai percepatan maksimum gempa disetiap lapisan menggunakan *software EERA* di Rumah Sakit UII Yogyakarta?
2. Bagaimana nilai percepatan maksimum gempa sesuai dengan SNI 1726-2019?
3. Bagaimana potensi likuefaksi berdasarkan nilai percepatan maksimum gempa hasil dari *software EERA*?
4. Bagaimana potensi likuefaksi berdasarkan nilai percepatan maksimum gempa hasil dari SNI 1726-2019?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui nilai percepatan maksimum gempa di setiap lapisan menggunakan *software EERA* di Rumah Sakit UII Yogyakarta.
2. Mengetahui nilai percepatan maksimum gempa sesuai SNI 1726-2019 di Rumah Sakit UII Yogyakarta.
3. Mengetahui potensi likuefaksi berdasarkan nilai percepatan maksimum gempa menggunakan *software EERA*.
4. Mengetahui potensi likuefaksi berdasarkan nilai percepatan maksimum gempa sesuai dengan SNI 1726-2019.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan pada penelitian ini sebagai berikut ini.

1. Lokasi penelitian berada di Rumah Sakit UII Yogyakarta.
2. Nilai percepatan maksimum diperoleh dari peta gempa 2017
3. Perhitungan hanya untuk memperoleh nilai percepatan gempa maksimum dengan metode Deterministic Seismic Hazard Assesment (DSHA)
4. Perhitungan dengan *software EERA* dan SNI 1726-2019 hanya untuk mencari nilai percepatan maksimum gempa.
5. Analisis Potensi Likuefaksi hanya menggunakan metode Youd & Idriss (2001).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis dalam penelitian ini sebagai berikut ini.

1. Memberikan informasi secara kuantitatif dan gambaran tentang percepatan maksimum gempa di wilayah Yogyakarta.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang nilai intensitas dan percepatan tanah maksimum kepada masyarakat khususnya di wilayah Yogyakarta.
3. Memberi informasi bagi pihak-pihak terkait mengenai kondisi tanah di wilayah Yogyakarta pasca terjadi gempa bumi.
4. Mengetahui potensi likuefaksi yang ada pada Rumah Sakit UII Yogyakarta.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Percepatan Maksimum Gempa

Syahbana (2016) dengan judul Analisis PSHA untuk menentukan peta kerawanan gempa di Provinsi Jawa Tengah dimana tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghasilkan peta kerawanan gempa bumi dan memberikan perkiraan nilai guncangan gempa secara kuantitatif dengan mempertimbangkan kerawanan bahaya di seluruh kabupaten dan kota di wilayah Jawa Tengah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kerawanan gempa berbasis probabilitas (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis - PSHA*).

Hasil dari penelitian ini yaitu nilai percepatan maksimum gempa di kota Pati sebesar 0,45g dan untuk percepatan maksimum paling rendah berada di kota Kendal sebesar 0,13g.

Kumala (2018) dengan judul Analisis PGA (*Peak Ground Acceleration*) Berdasarkan Data Gempa Untuk Wilayah Jakarta Timur Menggunakan Software PSHA dimana tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan peta percepatan gerakan tanah di wilayah Jakarta Timur.

Hasil dari penelitian ini nilai percepatan gempa maksimum untuk periode ulang 500 tahun di wilayah Jakarta timur yang dihasilkan tidak lebih dari 0,15g.

Tauhik (2017) dengan judul Analisis Respon Tanah Terhadap Gempa Pada Wilayah Kota Makassar Menggunakan Aplikasi EERA Dengan Sumber Gempa Patahan Walnae dimana tujuan dari penelitian ini yaitu Menganalisis percepatan gempa maksimum dengan *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*.

Hasil dari penelitian ini percepatan maksimum gempa di Gedung UNM PETTARANI sebesar 0,253g.

Dari penelitian tersebut persamaan dengan penelitian penulis adalah memakai analisis percepatan gempa maksimum dengan *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*. Perbedaan dari penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah lokasi penelitian serta nilai percepatan maksimum gempa digunakan untuk analisis potensi likuefaksi.

2.2 Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data SPT

Amanda (2022) melakukan penelitian berjudul Analisis Potensi Likuefaksi pada Rumah Sakit UII dengan Metode Youd-Idriss (2001), Seed et.al (1976) dan Valera-Donovan (1977) berdasarkan data N-SPT dimana tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi likuefaksi yang terjadi pada tanah yang berada di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia dengan berdasar pada data SPT (Standard Penetration Test) dengan Metode Youd-Idriss (2001), Seed *et al* (1976), dan Valera-Donovan (1977).

Hasil dari penelitian ini analisis likuefaksi pada Rumah Sakit UII berdasarkan pada metode Youd-Idriss (2001) menunjukkan bahwa pada titik SPT BM-01 potensi likuefaksi berada pada kedalaman 8 – 18 meter, dan untuk BM-02 potensi likuefaksi berada pada kedalaman 4 – 18 meter. Hasil analisis likuefaksi berdasarkan metode Seed et al (1976) adalah titik BM-01 dan titik BM-02 memiliki potensi likuefaksi karena nilai NL pada masing-masing lapisan pada setiap titik kurang dari nilai $Neq = 6,8$ ($NL < Neq$). Untuk hasil analisis likuefaksi berdasarkan metode Valera-Donovan (1977) adalah titik BM-01 dan titik BM-02 pada lapisan 14 meter – 18 meter memiliki potensi terjadinya peristiwa likuefaksi. Hal ini dikarenakan nilai dari N-SPT (N) lebih kecil dibandingkan nilai N_{crit} ($N < N_{crit}$).

Srikit (2019) dengan judul Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butiran dan Data N-SPT (Studi Kasus Pembangunan New Yogyakarta International Airport (NYIA) di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kulon Progo). Objek pada penelitian ini bertujuan mengetahui potensi likuefaksi dengan distribusi ukuran butiran.

Hasil dari penelitian ini pada butiran tanah desa gelagah dan desa pilihan memasuki batasan tanah yang paling berpotensi likuefaksi sedangkan menurut data NSPT pada metode metode Seed, Martin & Lysmer (1975) saat gempa 6,3 SR dengan kedalaman 12 m pada Desa Glagah dititik DB-02 dan DB-32 dan Desa Palihan dititik DB-09 dan DB-11 didapat nilai $Neq < NL$ yang merupakan tanah berpotensi likuefaksi. Sedangkan pada metode Velera & Donovan (1977) pada gempa berkekuatan 6,3 SR dan kedalaman 12 m Desa Glagah pada titik DB-02

dan DB-32 didapat nilai $N < N_{crit}$ hanya pada kedalaman 4 m dan Desa Palihan DB-09 dan DB-11 didapat $N < N_{crit}$ hanya pada kedalaman 2 m sehingga pada Desa Glagah berpotensi terjadi likuefaksi.

Mina (2018), Berdasarkan penelitian dengan judul Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data SPT Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Baru UNTIRTA Sindang Sari, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuefaksi pada lokasi pembangunan gedung baru UNTIRTA. 8 Objek penelitian ini menggunakan data tanah gedung UNTIRTA dengan data percepatan gempa dan dengan nilai SPT menggunakan hitungan Cyclic Stress Ratio (CSR) dan Cyclic Resistant Ratio (CRR).

Hasil dari penelitian ini yaitu kondisi tanah pasir keras dan padat dengan Nilai CSR pada lokasi penelitian memiliki nilai cukup besar, hal tersebut terjadi karena nilai percepatan gempa yang diperoleh dari perhitungan NERA memiliki nilai rata-rata lebih dari 0,2 g. Nilai CRR memiliki nilai yang cukup besar, faktor utama yang menyebabkan hal tersebut terjadi adalah nilai N-SPT yang bernilai cukup besar hampir pada keseluruhan titik yaitu >60 . Sedangkan dengan faktor keamanan untuk beberapa titik tertentu tidak aman terhadap likuefaksi dan titik lainnya aman.

Dari penelitian tersebut persamaan dengan penelitian penulis adalah analisis potensi likuefaksi memakai metode Youd & Idriss (2001). Perbedaan dari penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah nilai percepatan maksimum gempa yang dianalisis dengan metode DSHA digunakan untuk analisis potensi likuefaksi tidak hanya dengan nilai yang didapat dari SNI.

2.3 Keaslian Penulisan

Pada Tabel 2.1 di bawah ini disajikan rangkuman beberapa penelitian terdahulu yang membahas *seismic hazard*:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					
Peneliti	Sayhbana, <i>et al</i> (2016)	Kumala (2018)	Tauhik (2017)	Amanda (2022)	Srikit (2019)	Mina (2018)
Judul	Analisis PSHA untuk menentukan peta kerawanan gempa di Provinsi Jawa Tengah	Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Berdasarkan Data Gempa Untuk Wilayah Jakarta Timur Menggunakan Software PSHA	Analisis Respon Tanah Terhadap Gempa Pada Wilayah Kota Makassar Menggunakan Aplikasi EERA Dengan Sumber Gempa Patahan Walnae	Analisis Potensi Likuefaksi pada Rumah Sakit UII dengan Metode Youd-Idriss (2001), Seed et.al (1976) dan Valera-Donovan (1977) berdasarkan data N-SPT	Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butiran dan Data N-SPT (Studi Kasus Pembangunan New Yogyakarta International Airport (NYIA) di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kulon Progo).	Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data SPT Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Baru UNTIRTA Sindang Sari
Lokasi	Jawa Tengah	Jakarta Timur	Makassar	Yogyakarta	Yogyakarta	Banten
Tujuan	Membuat peta	Menghasilkan peta percepatan gerakan	Menganalisis	Mengetahui potensi	Membuat peta kerawanan gempa	mengetahui

	kerawanan gempa bumi di Provinsi Jawa Tengah dengan probabilitas 10% dalam 50 tahun dan peta respon spektra 10% dalam 50 tahun	tanah di wilayah Jakarta Timur.	percepatan gempa maksimum dengan <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis</i> (DSHA).	likuefaksi yang terjadi pada tanah yang berada di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia dengan berdasar pada data SPT (Standard Penetration Test) dengan Metode Youd-Idriss (2001), Seed <i>et al</i> (1976), dan Valera-Donovan (1977).	bumi di Provinsi Jawa Tengah dengan probabilitas 10% dalam 50 tahun dan peta respon spektra 10% dalam 50 tahun	potensi likuefaksi pada lokasi pembangunan gedung baru UNTIRTA. 8 Objek penelitian ini menggunakan data tanah gedung UNTIRTA dengan data percepatan gempa dan dengan nilai SPT menggunakan hitungan Cyclic Stress Ratio (CSR) dan Cyclic Resistant Ratio (CRR).
Hasil	Pada peta PGA menunjukkan bahwa tingkat kerawanan dengan parameter percepatan tanah	Nilai Percepatan gempa maksimum untuk periode ulang 500 tahun di wilayah Jakarta timur yang dihasilkan tidak	Percepatan maksimum gempa di Gedung UNM PETTARANI sebesar 0,253g	pada metode Youd-Idriss (2001) menunjukkan bahwa pada titik SPT BM-01 potensi likuefaksi berada pada kedalaman 8 – 18	Butiran tanah desa gelagah dan desa pilihan memasuki batasan tanah yang paling berpotensi likuefaksi sedangkan	Kondisi tanah pasir keras dan padat dengan Nilai CSR pada lokasi penelitian memiliki nilai cukup besar, hal

	<p>(PGA) dalam 50 tahun menunjukkan bahwa kota Pati memiliki bahaya seismik tertinggi dengan PGA 0.45g, dan kota Kendal memiliki bahaya terendah dengan PGA 0.13g.</p>	<p>lebih dari 0,15g.</p>		<p>meter, dan untuk BM-02 potensi likuefaksi berada pada kedalaman 4 – 18 meter. Hasil analisis likuefaksi berdasarkan metode Seed et al (1976) adalah titik BM-01 dan titik BM-02 memiliki potensi likuefaksi karena nilai NL pada masing-masing lapisan pada setiap titik kurang dari nilai $N_{eq} = 6,8$ ($NL < N_{eq}$). Untuk hasil analisis likuefaksi berdasarkan metode Valera-Donovan (1977) adalah titik BM-01 dan titik BM-02 pada lapisan 14 meter – 18meter memiliki potensi terjadinya</p>	<p>menurut data NSPT pada metode metode Seed, Martin & Lysmer (1975) saat gempa 6,3 SR dengan kedalaman 12 m pada Desa Glagah dititik DB-02 dan DB-32 dan Desa Palihan dititik DB-09 dan DB-11 didapat nilai $N_{eq} < NL$ yang merupakan tanah berpotensi likuefaksi. Sedangkan pada metode Velera & Donovan (1977) pada gempa berkekuatan 6,3 SR dan kedalaman 12 m Desa Glagah pada titik DB-02 dan DB-32 didapat nilai $N < N_{crit}$ hanya pada kedalaman 4 m dan Desa Palihan DB-09</p>	<p>tersebut terjadi karena nilai percepatan gempa yang diperoleh dari perhitungan NERA memiliki nilai rata-rata lebih dari 0,2 g. Nilai CRR memiliki nilai yang cukup besar, faktor utama yang menyebabkan hal tersebut terjadi adalah nilai N-SPT yang bernilai cukup besar hampir pada keseluruhan titik yaitu >60. Sedangkan dengan faktor keamanan untuk beberapa titik tertentu tidak aman terhadap</p>
--	--	--------------------------	--	--	---	--

				<p>peristiwa likuefaksi. Hal ini dikarenakan nilai dari N-SPT (N) lebih kecil dibandingkan nilai Ncrit ($N < N_{crit}$).</p>	<p>dan DB-11 didapat $N < N_{crit}$ hanya pada kedalaman 2 m sehingga pada Desa Glagah berpotensi terjadi likuefaksi</p>	<p>likuefaksi dan titik lainnya aman.</p>
--	--	--	--	--	--	---

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu peristiwa berguncangnya bumi yang disebabkan oleh benturan antar lempeng bumi, aktivitas patahan/sesar, aktivitas gunung api atau runtuhnya dari bangunan. Jenis bencana gempa bumi merupakan jenis kerusakan yang merusak dan dapat terjadi setiap saat dan berlangsungnya gempa bumi ini relatif dalam waktu yang singkat. Gempa bumi bisa menghancurkan berbagai infrastruktur seperti bangunan, jalan, jembatan dan berbagai rumah warga dalam waktu singkat.

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.

Penyebab terjadinya gempa bumi yaitu pelepasan energi yang dihasilkan dari tekanan yang disebabkan dari lempeng yang bergerak. Tekanan tersebut semakin lama akan terus membesar dan akan mencapai dalam keadaan di mana tekanan tersebut tidak bisa ditahan lagi oleh pinggiran lempengan, setelah pinggiran tidak mampu menahan tekanan maka terjadilah gempa bumi.

Pusat gempa atau episentrum adalah lokasi di bawah permukaan bumi di mana pelepasan energi terjadi, sedangkan zona sekitarnya dapat mengalami dampak yang berbeda-beda tergantung pada kedalaman dan kekuatan gempa. Gempa bumi dapat diukur menggunakan skala berbagai, seperti skala Richter atau skala Magnitudo Moment, yang mengukur kekuatan gempa.

3.1.1 Sejarah Gempa di Indonesia

Sejarah gempa di Indonesia mencerminkan kenyataan bahwa Indonesia termasuk dalam wilayah yang sangat rentan terhadap bencana gempa bumi, sebagaimana halnya dengan Jepang dan California. Hal ini disebabkan oleh posisi geografis Indonesia yang berada dalam zona tektonik yang sangat aktif. Wilayah Indonesia adalah tempat bertemunya tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Di sekitar titik pertemuan lempeng-lempeng ini, energi dari tumbukan akumulatif mengumpul hingga mencapai titik di mana kerak bumi tidak lagi mampu menahan tekanan energi ini, dan akibatnya terjadi gempa bumi. Pelepasan energi dalam bentuk gempa bumi ini memiliki beragam dampak serius pada bangunan dan lingkungan sekitarnya, termasuk percepatan gelombang seismik, tsunami, longsor, dan likuefaksi. Keberadaan interaksi antara lempeng-lempeng ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi. Besarnya dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi pada bangunan sangat tergantung pada beberapa faktor, seperti skala gempa, jarak dari episenter, mekanisme sumber gempa, jenis lapisan tanah di lokasi bangunan, dan kualitas bangunan itu sendiri.

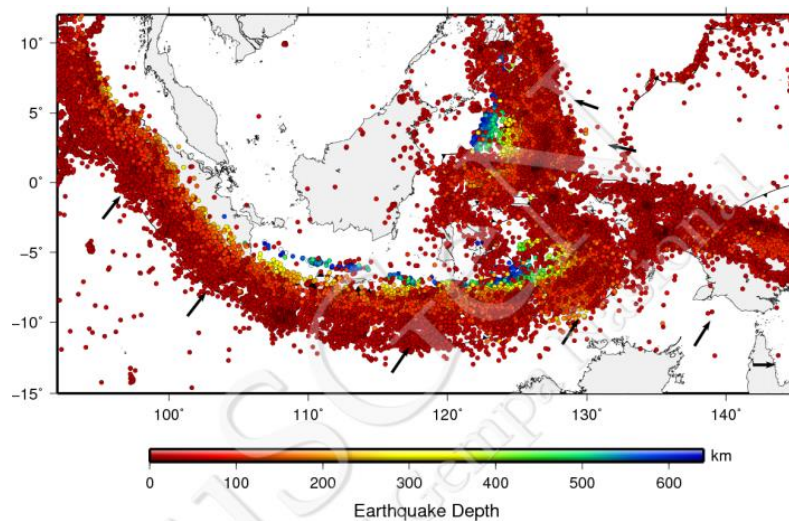
Kondisi tektonik Indonesia yang berada di pertemuan lempeng-lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau mikroblok (Bird, 2003) menciptakan potensi terjadinya gempa bumi di wilayah ini. Akibat dari proses tektonik yang terus berlangsung di Indonesia, kejadian gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia. Sumber-sumber gempa yang sudah diidentifikasi termasuk zona subduksi aktif yang membentang dari barat hingga timur Indonesia. Selain itu, sisa-sisa energi dari proses tumbukan antar lempeng ini juga dapat menghasilkan sesar di daratan dan di lautan di sejumlah pulau dan laut di wilayah Indonesia.

Di wilayah barat Indonesia, proses penunjaman Lempeng Indo-Australia ke dalam Lempeng Eurasia di sebelah barat Sumatra telah mengakibatkan gempa bumi dengan magnitudo sekitar 8 atau 9. Contohnya adalah gempa yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 ($M_w = 9,2$), gempa Nias tahun 2005 ($M_w = 8,7$), gempa

Bengkulu tahun 2007 ($M_w = 8,5$), dan gempa Mentawai tahun 2010 ($M_w = 7,8$). Gempa di Aceh tahun 2004 dianggap sebagai salah satu bencana alam terburuk sepanjang masa, diakui oleh National Geographic sebagai peringkat kedua dalam daftar tersebut. Gempa tersebut berdampak pada 14 negara, menyebabkan lebih dari 220.000 jiwa tewas, lebih dari 1,5 juta penduduk kehilangan tempat tinggal, dan kerugian ekonomi mencapai 10 miliar USD.

Selain itu, di selatan Jawa, gempa bumi yang terjadi di Pacitan pada tahun 1994 ($M_w = 7,8$) dan Pangandaran tahun 2006 ($M_w = 7,8$) juga menyebabkan gelombang tsunami dengan ketinggian mencapai sekitar 20 meter (Mori dkk., 2007; Fritz dkk., 2007).

Dari banyaknya gempa yang terjadi di Indonesia PusGen telah membuat peta gempa yang bisa dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Peta Gempa Indonesia
(Sumber: Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)

3.1.2 Klasifikasi Gempa

Klasifikasi gempa bumi berdasarkan penyebab terjadinya gempa tersebut bisa di klasifikasikan sebagai berikut.

1. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*)

Gempa tektonik, juga dikenal sebagai gempa bumi tektonik, adalah jenis gempa yang terjadi akibat aktivitas pergerakan lempeng tektonik, baik dalam

skala regional maupun global. Menurut Widodo (2012), pergerakan lempeng tektonik dapat berupa konvergen (bertemu), geseran (shear), tarikan (tension), atau kombinasi dari beberapa gerakan tersebut. Ketika terjadi interaksi antara lempeng-lempeng yang bertabrakan, bergeser, atau tarik-menarik, energi mulai terakumulasi. Gempa tektonik umumnya memiliki magnitudo yang lebih besar dibandingkan dengan jenis gempa lainnya.

2. Gempa Vulkanik (*Vulcanic Earthquake*)

Gempa vulkanik, atau yang disebut juga gempa gunung berapi, terjadi sebagai hasil dari aktivitas magma yang terjadi sebelum atau sesudah letusan gunung berapi. Ketika magma di bawah gunung api keluar ke permukaan, hal ini dapat menyebabkan getaran pada tanah, yang disebut gempa vulkanik. Meskipun intensitasnya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan gempa tektonik, gempa vulkanik masih memiliki potensi bahaya yang signifikan.

3. Gempa bumi runtuh

Gempa bumi runtuh adalah jenis gempa yang terjadi akibat faktor seperti tanah longsor, runtuhnya gua, atau aktivitas pertambangan. Runtuhan ini dapat menyebabkan getaran pada permukaan tanah, meskipun dampaknya cenderung lebih kecil dan wilayah terpengaruh biasanya lebih terbatas dibandingkan dengan gempa tektonik atau vulkanik. dibandingkan dengan jenis gempa-gempa lainnya.

3.1.3 Klasifikasi gempa menurut kedalaman hiposentrum

1. Gempa bumi dalam

Gempa bumi dalam yaitu gempa bumi yang pusat gempa atau hiposentrumnya berada lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa jenis ini umumnya tidak terlalu berbahaya yang pada umumnya hanya menimbulkan kerusakan ringan dan getarannya yang cenderung lebih terasa.

2. Gempa bumi menengah

Gempa bumi menengah yaitu gempa bumi yang pusat gempa atau hiposentrumnya berada antara 60 km sampai 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa jenis ini umumnya hanya menimbulkan kerusakan ringan dan getarannya yang cenderung lebih terasa.

3. Gempa bumi dangkal

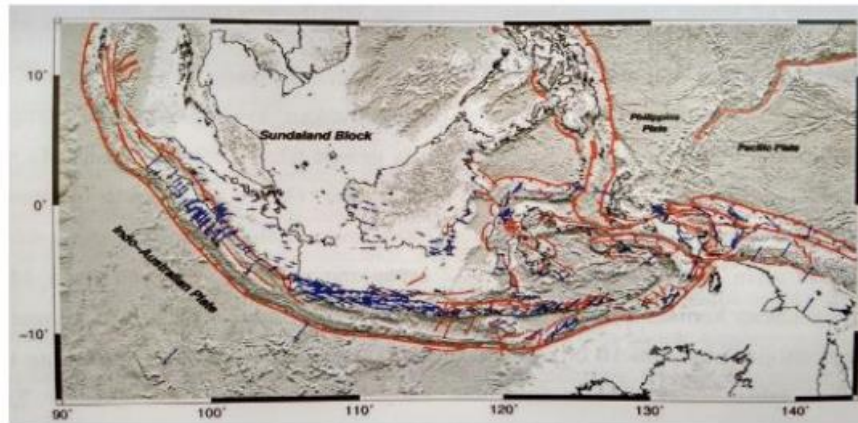
Gempa bumi dangkal yaitu gempa bumi yang pusat gempa atau hiposentrumnya berada kurang dari 60 km dari permukaan bumi. Gempa bumi jenis ini sering menimbulkan kerusakan yang besar.

3.1.4 Gambaran Kondisi Tektonik Indonesia

Dilihat dari posisi geografisnya, Indonesia terletak antara 6° LU dan 11° LS serta 95° BT dan 141° BT. Kondisi tektonik di Indonesia sangat aktif, dan ini dapat dibagi menjadi dua wilayah, yaitu tektonik Indonesia bagian barat dan tektonik Indonesia bagian timur. Wilayah tektonik Indonesia bagian barat didominasi oleh konvergensi lempeng India-Australia dengan lempeng Eurasia yang membentang sepanjang barat Sumatera. Arah konvergensi ini menciptakan penunjaman lempeng yang miring terhadap arah palung, dan arah penunjaman lempeng ini hampir tegak lurus. Di sisi lain, wilayah tektonik Indonesia bagian timur lebih padat di sepanjang selatan Jawa, dengan dua lempeng yang dominan di bawah Laut Banda, yaitu lempeng Palung Timor dan Aru di selatan serta lempeng Palung Seram di utara, dipisahkan oleh Sesar Tarera-Aiduna (Bock et al., 2003).

Pada peta tektonik Indonesia menggambarkan zona penunjaman di titik pertemuan antara lempeng yang merupakan sumber gempa bumi di Indonesia. Lempeng tektonik Indonesia terutama terdiri dari tiga lempeng utama, yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Samudra Pasifik. Indonesia dikelilingi oleh tiga zona subduksi, yang pertama adalah akibat interaksi antara lempeng Pasifik dan Australia yang terjadi di sekitar Pulau Papua. Zona subduksi kedua adalah hasil dari interaksi antara lempeng Eurasia dan lempeng Australia yang terletak di pantai barat Sumatera, sepanjang pantai selatan Pulau Jawa, dan lepas pantai di pesisir selatan Kepulauan Nusa Tenggara. Zona subduksi ketiga melibatkan tumbukan antara ketiga lempeng ini di sekitar Sulawesi (Tim Pusat Gempa Nasional, 2017).

Peta tektonik Indonesia yang menggambarkan zona penunjaman di titik pertemuan antara lempeng bisa dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Peta tektonik wilayah Indonesia

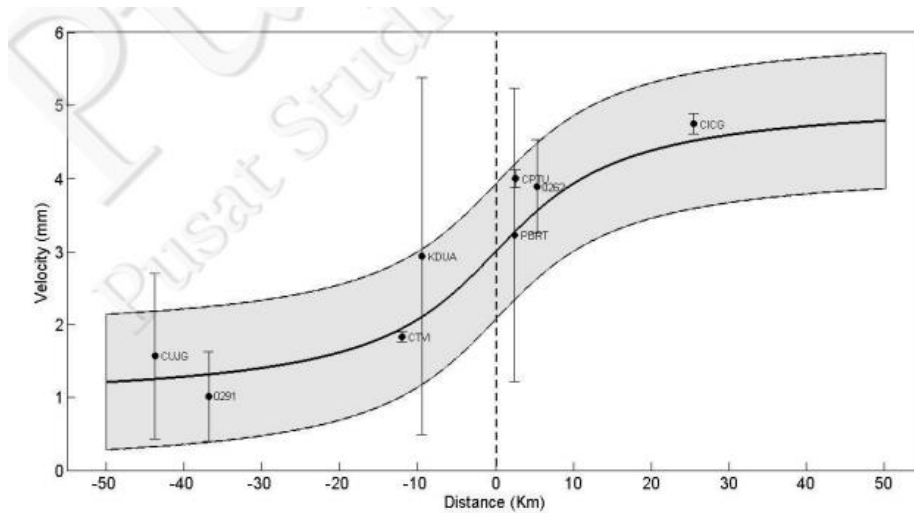
(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Gempa tektonik disebabkan oleh pergerakan sesar yang terjadi di daratan, seperti contohnya Gempa Yogyakarta yang terjadi pada bulan Mei 2006 (Abidin dkk, 2009). Di Pulau Jawa, terdapat beberapa sesar utama, termasuk Sesar Cimandiri, Sesar Lembang, dan Sesar Baribis di wilayah Jawa Barat, Sesar Opak di Yogyakarta, Sesar Kendeng yang membentang dari pertengahan Jawa Timur hingga bagian timur Jawa Tengah, serta Sesar Pati di bagian utara Jawa Tengah.

1. Sesar Cimandiri

Sesar Cimandiri adalah salah satu sesar utama yang terdapat di wilayah Jawa Barat. Sesar ini membentang di antara wilayah administratif yang mencakup Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Cianjur, dan Padalarang, wilayah-wilayah yang padat penduduk. Menurut PusGen 2017, Sesar Cimandiri dibagi menjadi 3 segmen dengan mekanisme sesar naik. Ketiga segmen ini meliputi segmen utama yang berlokasi di daerah Pelabuhan Ratu, segmen Nyalindung-Cibeber, dan segmen Rajamandala ke arah darat.

Hasil perhitungan laju geser untuk Sesar Cimandiri dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Perhitungan laju geser Sesar Cimandiri

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Setelah terjadi sejumlah gempa di wilayah zona Sesar Cimandiri, pengamatan kembali dilakukan setelah terjadinya gempa di Jawa pada tahun 2006.

Hasil perhitungan regangan menunjukkan bahwa Sesar Cimandiri memiliki beragam mekanisme, dan berikut ini adalah Tabel 3.1 hasil perhitungan laju gesernya.

Tabel 3.1 Pembagian segmen Sesar Cimandiri

No	Active Fault			Sliprate Geodetic (mm/yr)
	Main	Segment	Type	
1	Cimandri Fault	Cimandri	R	3.5
2	Cimandri Fault	Nyalindung-Cibeber	R	3.5
3	Cimandri Fault	Rajamandala	SS	3.5

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

2. Sesar Lembang

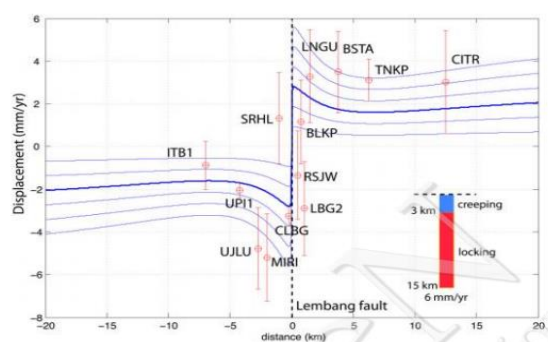
Sesar Lembang memiliki panjang sekitar 24 km dan terletak sekitar 8 km di sebelah barat kota Bandung. Sesar Lembang melintasi wilayah yang padat penduduk, terutama di sebelah barat sesar Lembang, seperti daerah Parompong yang mengalami gempa pada 28 Agustus 2011 (Meilano dkk, 2012). Pengamatan geodetik dengan menggunakan GPS telah dilakukan di wilayah Sesar Lembang sejak tahun 2006 (Abidin dkk, 2009). Beberapa stasiun GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite System) di sekitar Sesar Lembang diamati secara berkala dalam jangka waktu yang cukup lama, mulai dari Juni 2006 hingga April 2011.

Di bawah ini merupakan pembagian segmen sesar Lembang, bisa dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Pembagian segmen Sesar Lembang

<i>No</i>	<i>Active Fault</i>			<i>Sliprate Geodetic (mm/yr)</i>
	<i>Main</i>	<i>Segment</i>	<i>Type</i>	
1	Lembang Fault	Lembang	SS	5

Perhitungan laju geser Sesar Lembang bisa dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Laju geser Sesar Lembang

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Hasil perhitungan laju geser dengan menggunakan data GPS bahwa Sesar Lembang mempunyai laju geser sebesar 6 mm/tahun pada kedalaman 3-15 km di bawah permukaan.

3. Sesar Baribis

Sesar Baribis adalah sesar yang membentang dari arah timur ke barat di wilayah Jawa Barat. Menurut hasil penelitian Marliyani (2016), Sesar Baribis terdiri dari beberapa segmen yang masing-masing memiliki mekanisme sesar yang berbeda. Segmen Tampomas memiliki mekanisme sesar normal, sedangkan segmen Subang, segmen Cirebon, dan segmen Brebes memiliki mekanisme sesar naik. Segmen Ciremei merupakan sesar dengan mekanisme sesar geser.

Pembagian segmen-segmen sesar Baribis bisa dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Pembagian segmen Sesar Baribis

<i>No</i>	<i>Active Fault</i>			<i>Sliprate Geodetic (mm/yr)</i>
	<i>Main</i>	<i>Segment</i>	<i>Type</i>	
1	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Subang	R	0,5
2	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Cirebon-1	R	0,5
3	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Cirebon-2	R	0,5
4	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Karang Malang	R	0,5
5	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Brebes	R	4,5
6	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Tegal	R	4,5
7	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Pemalang	R	4,5
8	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Pekalongan	R	4,5
9	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Weleri	R	4,5

Lanjutan Tabel 3.3 Pembagian segmen Sesar Baribis

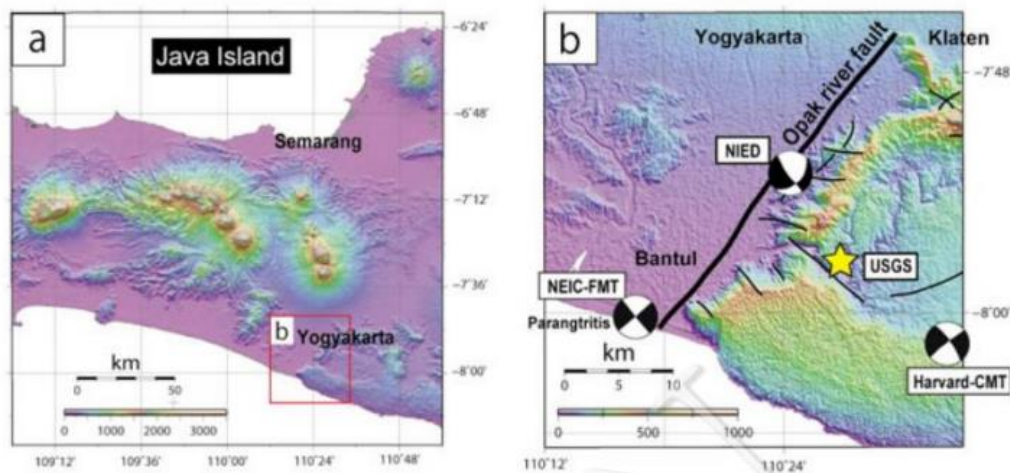
	Thrust Zone			
10	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Semarang	R	4,5
11	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Rawapening	R	4,5
12	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Demak	R	4,5
13	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Purwodadi	R	4,5
14	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Cepu	R	4,5
15	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Waru	R	4,5
16	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Surabaya	R	4,5
17	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Blumbang	R	4,5
18	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Tampomas	N	4,5

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

4. Sesar Opak

Gempa Yogyakarta yang kita kenal saat ini terjadi pada 27 Mei 2006 dan merupakan gempa tektonik yang disebabkan oleh pergerakan sesar Opak di wilayah Yogyakarta. *Magnitude* gempa 27 Mei 2006 ini cukup besar yaitu $6,4M_w$ yang mengakibatkan banyak korban jiwa diantaranya 6,234 jiwa meninggal, 36,299 orang terluka, dan sekitar 1,5 juta orang kehilangan tempat tinggal. Gempa utama ini masih diikuti dengan gempa susulan sekitar 750 kali yang menyebabkan kerusakan infrastruktur sekitar 616,458 unit bangunan pemukiman.

Berikut merupakan kenampakan Sesar Opak bisa dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5 Kenampakan Sesar Opak
(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Dari peristiwa gempa tersebut, Abidin dkk (2009), melakukan pengamatan GPS di 48 stasiun GPS yang tersebar di sekitar wilayah gempa. Stasiun GPS ini diamati selama satu minggu setelah gempa kemudian dilanjutkan pada awal tahun 2008. Dari perhitungan menyatakan bahwa Sesar Opak adalah sesar dengan mekanisme pergerakan geser dan memiliki kecepatan laju geser sekitar 4-6 mm per tahun.

Pembagian segmen sesar Opak bisa dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Pembagian segmen Sesar Opak

<i>No</i>	<i>Active Fault</i>			<i>Sliprate Geodetic (mm/yr)</i>
	<i>Main</i>	<i>Segment</i>	<i>Type</i>	
1	Opak	StrikeSlipFault	SS	5.0

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Sesar aktif yang ada di Jawa menurut PusGen 2017 bisa dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Sesar Aktif di Jawa

No.	Sesar Aktif			Kedudukan		Panjang (km)
	Utama	Segmen	Tipe	Strike	DIP	
1	Cimandri Fault	Cimandri	R	E-W	45S	23
2	Cimandri Fault	Nyalindang-Cibeber	R		45S	30
3	Cimandri Fault	Rajamandala	SS			45
4	Lembang Fault	Lembang	SS	E-W	90	30
5	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Subang	R	NW	45S	33
6	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Cirebon-1	R	NW	45S	15
7	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Cirebon-2	R	NW	45S	18
8	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Karang Malang	R	EW	45S	22
9	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Brebes	R		45S	22
10	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Tegal	R	ENE	45S	15
11	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Pemalang	R	NE	45S	9
12	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Pekalongan	R	NE	45S	16
13	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Weleri	R		45S	17
14	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Semarang	R	EW	45S	34
15	Baribis Kendeng	Rawapening	R	NW	45S	18

Lanjutan Tabel 3.5 Sesar Aktif di Jawa

	Fold-Thrust Zone					
16	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Demak	R	EW	45S	31
17	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Purwodadi	R	EW	45S	38
18	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Cepu	R	ESE	45S	100
19	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Waru	R	EW	45S	64
20	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Surabaya	R	ESE	45S	25
21	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Blumbang	R	NE	45S	31
22	Baribis Kendeng Fold-Thrust Zone	Tampomas	N	NE	60	8
23	Muria Fault	Normal Fault	N	N-S	60	28
24	Cirebon	StrikeSlipFault	SS	NNW		20
25	Ciremai	StrikeSlipFault	SS	NW	90	20
26	Ajibarang	StrikeSlipFault	SS	EW	90	20
27	Ungaran-1	NormalFault	N	EW	60S	17
28	Ungaran-2	StrikeSlipFault	N	N	90	20
29	Opak	StrikeSlipFault	SS	NE	60S	45
30	Merapi-Merbabu	StrikeSlip	SS	NS	90	28
31	Lasem Thrust	Reverse	R	NE	90	69
32	Pasuruan Thrust		N		60S	18
33	Pasuruan Fault		SS		60N	15
34	Probolinggo Fault		N		60E	10
35	Garsela Fault	Rakutai	N		60E	19
36	Garsela Fault	Kencana	SS		90	12

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

3.1.5 Zona Subduksi Jawa

Zona subduksi di Jawa memiliki frekuensi dan magnitudo gempa yang lebih rendah daripada zona subduksi di Sumatera. Meskipun frekuensinya lebih rendah, beberapa gempa besar terjadi di lepas pantai selatan Jawa, terutama di sepanjang megathrust (Newcomb dan McCann, 1987). Meskipun belum ada catatan gempa dengan magnitudo (Mw) 8 atau lebih di zona subduksi Jawa, kejadian tsunami kecil terjadi pada tahun 1994 (Abercrombie dkk., 2001) dan 2006 (Ammon dkk., 2006; Fuji dan Satake, 2006). Ini menunjukkan bahwa zona subduksi Jawa masih memiliki potensi gempa, meskipun pergerakan lempeng di sana sebagian besar bersifat aseismik tanpa penumpukan energi.

Penjelasan ini didukung oleh fakta bahwa lempeng samudra yang menunjam di bawah laut Jawa relatif lebih tua (berusia 120-130 juta tahun) dan lebih dingin. Akibatnya, sudut penunjaman menjadi lebih besar, dan lempeng samudra tersebut tidak bersinggungan kuat dengan lempeng Eurasia di atasnya.

Namun, beberapa kejadian gempa, seperti yang terjadi pada tahun 1994 dan 2006, menunjukkan bahwa zona subduksi Jawa tidak sepenuhnya bersifat aseismik dan masih memiliki potensi kegempaan. Menurut Kanamori (2008), zona subduksi di mana lempeng menunjam memiliki permukaan yang kasar dan tua. Daerah yang mengalami penumpukan energi dapat terletak di dalam zona yang sempit, terutama di dekat trench atau batas deformasi paling depan dari sistem subduksi. Gempa tahun 1944 dan 2006 terjadi di daerah yang sempit, beberapa puluh kilometer dari palung, sehingga kemungkinan besar disebabkan oleh adanya zona penumpukan energi terisolasi di batas subduksi Jawa. Potensi gempa di zona subduksi Jawa pada masa mendatang kemungkinan besar terletak di daerah yang memiliki seismisitas rendah, yang disebut sebagai zona seismic gap, di sepanjang zona seismik yang sempit.

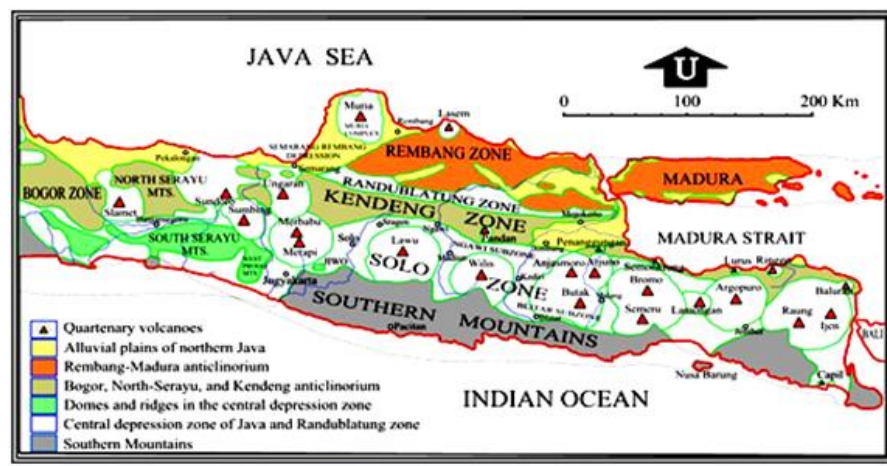
3.1.6 Kondisi Geologi di Yogyakarta

Mnurut Van Bammelen (1949) pada penelitiannya telah membagi wilayah Jawa Timur – Jawa Tengah terbagi atas 7 zona yaitu:

1. Zona Dataran Aluvial Pantai Utara Jawa
2. Zona Depresi Semarang – Rembang

3. Zona Rembang
4. Zona Depresi Randublatung
5. Zona Kendeng
6. Zona Depresi Tengah/Zona Solo
7. Zona Pegunungan Selatan

Fisiografi wilayah Yogyakarta bisa dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



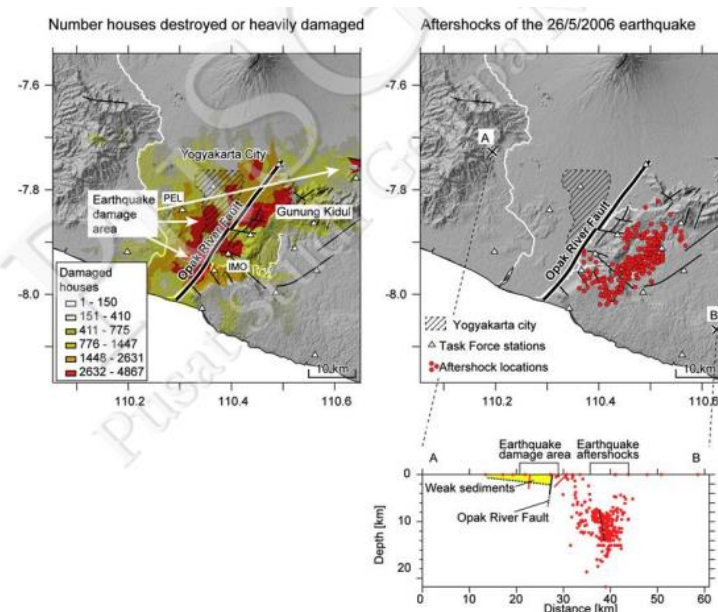
Gambar 3.6 Fisiografi Yogyakarta
(Sumber: Van Bammelan, 1949)

Van Bammelan (1949) mengklasifikasikan wilayah Jawa Timur dan Jawa Tengah menjadi tujuh zona fisiografi salah satunya yaitu zona pegunungan selatan yang membentang di selatan Yogyakarta dengan lebar sekitar 55 km. Wilayah ini merentang dari Jawa Tengah hingga Jawa Timur, dengan lebar sekitar 25 km di wilayah Blitar. Zona pegunungan selatan ini terbagi menjadi tiga sub-zona, yaitu sub-zona Wonosari, zona Baturagung, dan sub-zona Gunung Sewu (Iftichatul, 2012).

Keberadaan Sesar Opak mulai menjadi perhatian sejak terjadinya gempa di Yogyakarta pada tahun 2006. Sesar Opak dianggap sebagai penyebab utama gempa ini. Hasil dari penelitian lapangan yang dilakukan sekitar 3 bulan setelah gempa Yogyakarta tahun 2006 menunjukkan adanya retakan permukaan akibat pergerakan sesar ini di sepanjang Sesar Opak, yang didominasi oleh pergerakan geser sinistral (Natawidjaja, 2016). Namun, data mengenai retakan permukaan ini tidak lengkap karena beberapa data hilang atau tidak dapat diidentifikasi saat

penelitian dilakukan di lapangan. Terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil penelitian geologi lapangan dengan data rekaman gempa susulan yang dilakukan oleh Walter dkk. (2008) dan Fukuoka dkk. (2009). Data gempa susulan menunjukkan bahwa sumber gempa berada sejajar dengan Sesar Opak tetapi sekitar 5 km ke arah timur. Natawidjaja (2016) mencoba menjelaskan perbedaan ini dengan mengusulkan hipotesis bahwa mungkin bidang sesar memiliki kemiringan ke arah timur.

Sumber gempa Sesar Opak dapat dilihat pada Gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7 Sebaran Aftershocks gempa Sesar Opak

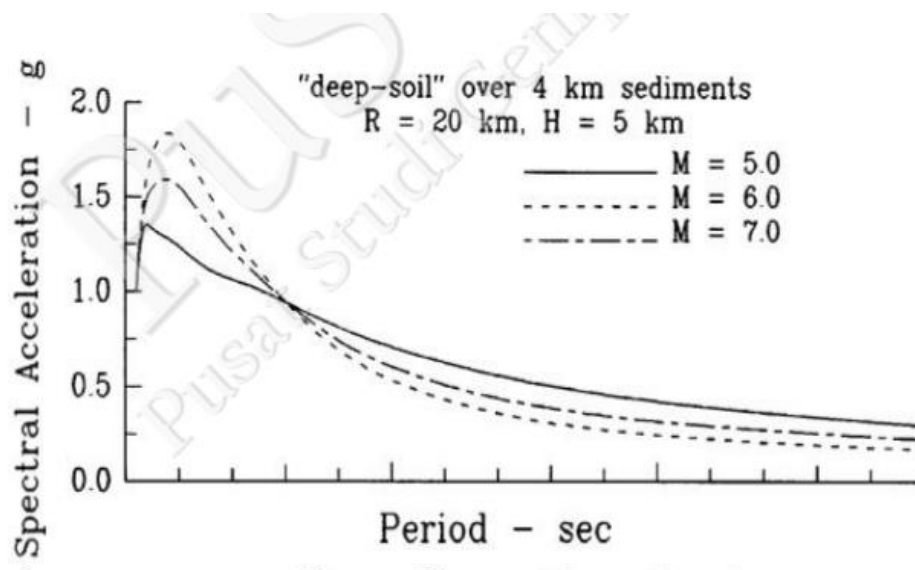
(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

3.1.7 Magnitude Gempa

Metode perhitungan magnitudo gempa dikembangkan oleh K. Wadati dan C. Richter sekitar tahun 1930 (Lay and Wallace, 1995). Magnitude gempa merupakan suatu ukuran yang merepresentasikan kekuatan gempa yang terjadi. Magnitudo gempa tersebut yaitu hasil pengukuran amplitudo berdasarkan skala logaritmik dari kekuatan gempa dan diperoleh melalui pemantauan oleh perangkat rekam gelombang gempa yang dikenal sebagai seismograf. Setiap gempa memiliki satu ukuran magnitudo yang mencerminkan kekuatannya. Kekuatan dan dampak gempa yang terjadi sangat tergantung pada magnitudo. Semakin tinggi

magnitudo gempa, semakin kuat guncangan yang akan dirasakan di lokasi yang terkena dampak gempa.

Hubungan antara spektrum percepatan gerakan tanah dan periode gelombang gempa untuk berbagai magnitudo gempa dapat dilihat dalam gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 Hubungan antara spektra percepatan dengan periode getar gelombang

(Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

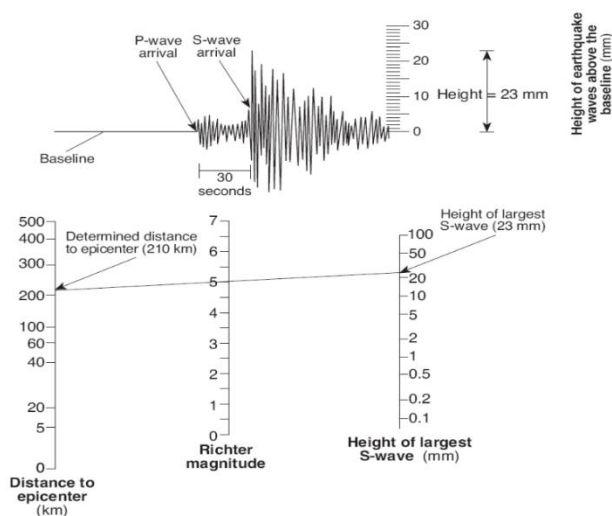
Ada 3 ukuran yang digunakan pada magnitudo yaitu:

1. Magnitude lokal (M_L)

Magnitude lokal merupakan metode perhitungan yang ditemukan Charles Richter yang memperkenalkan skala magnitudo pada awal tahun 1935 dengan menggunakannya untuk mengukur gempa bumi di sekitar California. dalam bentuk datan jarak episenter <100 km menggunakan alat seismometer oleh Seismograf Wood-Anderson. Perhitungan magnitudo gempa dapat dilakukan dengan mengukur jarak dari episenter (pusat gempa) ke seismograf dan amplitudo maksimal gelombang gempa yang tercatat pada seismogram. Dengan menggunakan rumus dan perhitungan tertentu, para ilmuwan dapat menentukan magnitudo gempa, yang merupakan ukuran kekuatan relatif gempa tersebut. Biasanya, semakin besar magnitudo, semakin kuat gempa bumi tersebut. Skala

magnitudo adalah cara penting untuk menggambarkan dan memahami kekuatan gempa bumi. Menurut Woods-Anderson dengan mengetahui jarak episenter ke seismograf dan mengukur amplitudo maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograf maka bisa dilakukan pendekatan untuk mengetahui seberapa besar gempa bumi yang terjadi untuk memudahkan orang untuk menentukan skala Richter ini, tanpa menggunakan perhitungan yang matematis dan juga rumit.

Dibuatlah model sederhana diagram demonstrasi nomogram pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Diagram Demonstrasi Nomogram Metode Richter

(Sumber: The Richter Scale)

Untuk menghitung magnitudo gempa, yang perlu diketahui adalah amplitudo maksimum yang tercatat pada seismograf dalam milimeter dan selisih waktu antara gelombang P dan gelombang S dalam detik. Setelahnya dapat menggunakan grafik atau rumus yang sesuai untuk menentukan magnitudo gempa. Semakin besar amplitudo dan selisih waktu tersebut, semakin tinggi magnitudo gempa tersebut. Skala Richter adalah cara penting untuk mengukur dan mengklasifikasikan gempa bumi berdasarkan kekuatannya.

Penggunaan magnitudo lokal sekarang jarang dipakai dikarenakan pemakaian seismograf Woods-Anderson tidak terlalu akurat. Persamaan untuk mencari nilai ML pada persamaan 3.1 berikut ini.

$$ML = \log A - 2.48 + 2.76 \log \Delta \quad (3.1)$$

dengan:

A = Amplitudo maksimum gerakan tanah (μm)

Δ = Jarak dari stasiun ke pencatat sumber gempa (km)

2. Magnitude Body (M_b)

Magnitude Body adalah metode perhitungan gelombang badan yang diperkenalkan oleh Gutenberg pada tahun 1945, yang diperoleh dengan menghitung total energi gelombang elastis yang dipancarkan dalam bentuk gelombang P dan S. Dalam pandangan Lay dan Wallace (1995), gelombang badan adalah rekaman amplitudo dari gelombang P yang dipropagasi dari dalam bumi.

Persamaan Magnitude Body dapat dilihat pada persamaan 3.2 berikut ini.

$$M_b = \log A - \log T + 0.01 \Delta + 5.9 \quad (3.2)$$

dengan:

A = amplitudo gelombang primer (μm)

T = periode, gelombang primer (detik)

Δ = jarak dari stasiun ke pencatat sumber gempa (km)

3. Magnitude Surface (M_s)

Magnitude permukaan merupakan metode perhitungan yang diperkenalkan oleh Gutenberg dan Richter pada tahun 1936. Metode ini didasarkan pada total energi gelombang Love (L) dan gelombang Rayleigh (R), dengan asumsi bahwa gempa memiliki hiposenter dangkal, yaitu kurang dari 30 kilometer, dan amplitudo maksimal terjadi pada periode 20 detik. Metode ini biasanya digunakan untuk gempa dengan jarak episenter lebih dari 600 kilometer.

Seismogram periode panjang (long-period seismogram) dari gempa dangkal yang didominasi oleh gelombang permukaan memiliki persamaan yang bisa dilihat pada persamaan 3.3 berikut ini.

$$M_s = \log A_{20} + 1.66 \cdot \log \Delta + 2.0 \quad (3.3)$$

dengan:

A_{20} = amplitudo gelombang permukaan (mm per 20 detik),

Δ = jarak episenter dari seismometer (km)

4. Magnitude Moment (M_w)

Magnitude Moment merupakan suatu metode pengukuran langsung dari

gempa bumi yang menghubungkan sifat fisik dari sumber gempa, disimbolkan dengan M_0 , dengan magnitudo gempa bumi. Nilai M_0 ini dapat diestimasi berdasarkan dimensi pergeseran pada bidang sesar atau melalui analisis karakteristik gelombang gempa yang direkam di stasiun pencatat, terutama menggunakan seismograf periode bebas (broadband seismograph).

Dalam mengatasi masalah saturasi yang muncul pada gempa-gempa besar dan kuat, Kanamori (1977) mengembangkan metode magnitudo Moment dan merumuskannya yang bisa dilihat pada persamaan 3.4 berikut ini.

$$M_w = \text{Log}.M_0 \cdot 1.5 - 10.73 \quad (3.4)$$

dengan:

M_0 = seismic moment (dyne-cm)

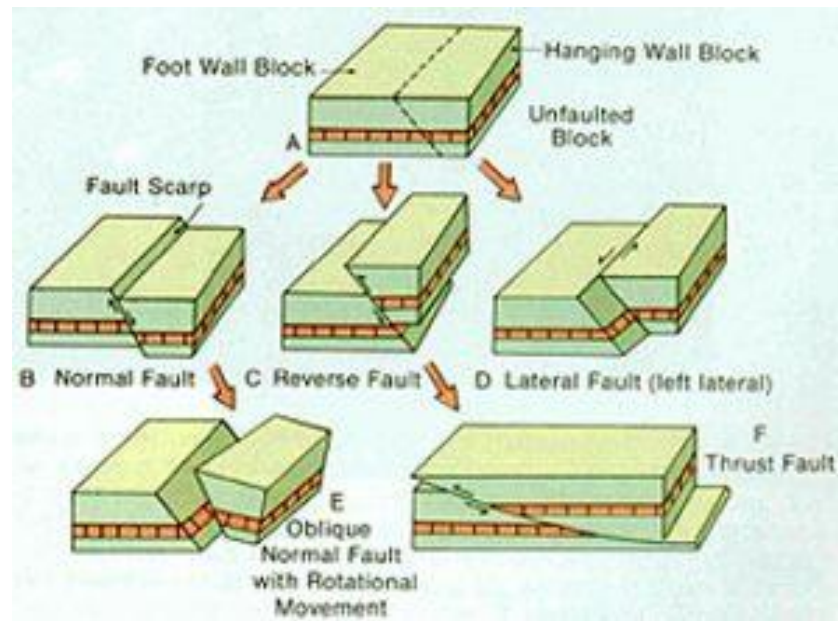
Berdasarkan penelitian sebelumnya, magnitudo gempa juga dapat dihitung dengan memperhitungkan faktor-faktor kerusakan seperti panjang keruntuhan, area keruntuhan, dan perpindahan akibat gempa yang terjadi (Wells dan Coppersmith, 1994).

3.2 Identifikasi sifat dan lokasi sumber gempa

Identifikasi dan karakteristik gempa melibatkan pemahaman tentang berbagai aspek sumber gempa dan potensi terjadinya gempa, yang memerlukan pengetahuan tentang jenis patahan yang menjadi sumber gempa. Slip rate (kecepatan pergerakan) dan jenis patahan akan memengaruhi hasil penelitian. Patahan adalah hasil dari kombinasi pergerakan horizontal dan tekanan vertikal, yang dapat menyebabkan retakan dan pembentukan patahan pada lapisan tanah. Terdapat dua jenis patahan, yaitu horst, yang mengangkat bagian tanah lebih tinggi daripada sekitarnya, dan graben atau slenk, yang menyebabkan bagian tanah tenggelam lebih rendah daripada sekitarnya.

Berdasarkan arah pergerakan blok batuan sepanjang patahan, patahan dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu normal (Normal Fault), reverse (Reverse Fault), strike-slip (Strike-slip Fault), dan oblique slip (Oblique Slip Fault).

Arah pergerakan batuan selama terjadinya patahan dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah ini.



Gambar 3.10 Arah gerak batuan pada berbagai macam patahan

(Sumber: ilmugeroграфи.com)

1. *Normal Fault*

Patahan normal, juga dikenal sebagai normal fault, adalah jenis patahan di mana blok batuan bergerak sepanjang bidang patahan ke bawah, mengikuti arah pergerakan batuan.

2. *Reverse Fault*

Patahan berlawanan, atau thrust fault, adalah jenis patahan di mana blok batuan bergerak berlawanan dengan arah patahan normal, yaitu bergerak ke atas. Patahan berlawanan ini memiliki kemiringan bidang patahan yang lebih kecil dari 45 derajat.

3. Patahan *Strike-slip Fault*

Patahan celah lurus, atau strike-slip fault, terjadi ketika pergerakan batuan terjadi secara horizontal. Dalam patahan ini, salah satu blok batuan bergerak menjauhi bidang patahan sepanjang arah horizontal. Blok yang bergerak

menjauhi bidang kiri disebut "Right-Fault," sedangkan yang bergerak menjauhi bidang kanan disebut "Left-Fault." Patahan celah lurus ini disebabkan oleh gaya geser lateral.

4. *Oblique Slip Fault*

Patahan celah miring, atau oblique slip fault, adalah jenis patahan yang menggabungkan sifat-sifat patahan normal dan patahan celah lurus. Dalam patahan ini, pergerakan batuan bisa berupa naik-turun dan bergerak horizontal ke kiri atau ke kanan. Patahan ini disebabkan oleh gaya tekan dari atas atau bawah dan gaya geser lateral yang diberikan pada batuan.

Normal Fault atau patahan normal merupakan patahan dengan blok batuanya bergerak mengikuti arah gerak batuan yang menuju ke bawah sepanjang bidang patahan.

3.3 Konversi Magnitudo

Penting untuk ditekankan bahwa dalam analisis pembaruan peta gempa di Indonesia, penting untuk hanya menggunakan satu jenis magnitudo, yaitu magnitudo momen M_w . Meskipun jenis magnitudo yang dihitung untuk suatu peristiwa gempa mungkin berbeda-beda tergantung pada penulisnya, oleh karena itu, diperlukan konversi magnitudo untuk menghubungkan berbagai jenis magnitudo seperti M_s , M_b , M_L ke dalam magnitudo momen M_w . Ini memastikan konsistensi dan akurasi dalam analisis data gempa bumi serta pembaruan peta gempa di wilayah Indonesia.

3.3.1 Konversi M_b ke dalam M_w

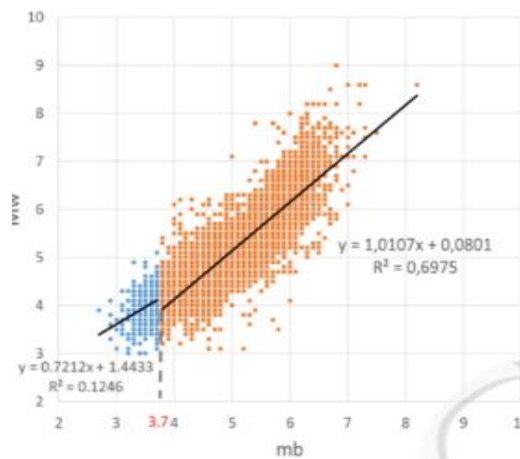
Konversi magnitudo dari m_b ke M_w dilakukan dengan membuat persamaan garis lurus dari plot antara M_b dan M_w . Persamaan konversi ini diperoleh dari data sebanyak 19,162 peristiwa gempa yang memiliki kedua magnitudo, yaitu M_w dan M_b . Rentang magnitudo momen yang digunakan dalam plot berkisar antara 3 hingga 9, sementara rentang magnitudo bodi yang diambil adalah dari 2,7 hingga 8,2. PusGen membagi rentang plot menjadi dua bagian, yaitu kurang dari 3,7 dan lebih besar atau sama dengan 3,7. PusGen hanya menggunakan data dengan magnitudo lebih besar dari 4,5 dalam katalog yang tersedia, sehingga persamaan

konversi hanya diperlukan untuk magnitudo yang cukup besar. Persamaan konversi dapat diungkapkan melalui rumus sebagai berikut:

$$M_w = 1,0107M_b + 0,0801$$

Untuk rentang magnitudo $3,7 \leq M_b \leq 8,2$ dengan $R^2=0,6975$

Hubungan antara M_b dan M_w bisa dilihat pada Gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 Hubungan antara M_b dan M_w

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

3.3.2 Konversi M_s ke dalam M_w

Untuk mengkonversi magnitudo dari M_s (*Magnitudo Surface Wave*) ke M_w (*Magnitudo Moment*), dilakukan dengan membuat sebuah persamaan garis lurus melalui plot data dari sekitar 6.718 kejadian gempa yang memiliki magnitudo M_w dan M_s . Rentang magnitudo momen yang digunakan dalam analisis ini berkisar antara 3,1 hingga 9,0, sedangkan rentang magnitudo M_s berkisar antara 2,8 hingga 8,7.

Pusat Gempa Nasional (PusGen) membagi plot data menjadi dua bagian, yaitu data dengan magnitudo kurang dari 6,1 dan data dengan magnitudo lebih dari atau sama dengan 6,1. Titik perubahan (titik belok) dalam kurva terjadi pada magnitudo 6,1. Ini mengindikasikan bahwa ada dua persamaan konversi yang digunakan untuk magnitudo di bawah 6,1 dan di atas 6,1. Dengan menggunakan persamaan garis lurus ini, Anda dapat mengkonversi magnitudo M_s menjadi magnitudo M_w untuk berbagai kejadian gempa bumi sesuai dengan magnitudo

M_s yang diamati.

Persamaan konversi bisa dilihat pada rumus berikut ini.

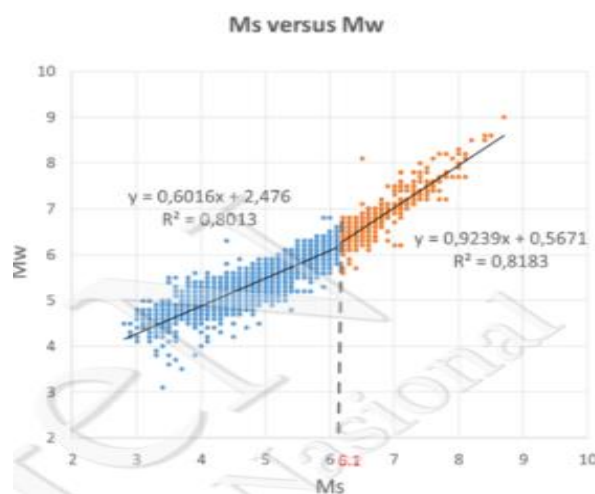
$$M_w = 0,6016M_s + 2,476$$

Untuk rentang $2,8 \leq M_s \leq 6,1$ dengan $R^2 = 0,8013$, dan

$$M_w = 0,9239M_s + 0,5671$$

Untuk rentang $6,2 \leq M_s \leq 8,7$ dengan $R^2 = 0,8183$

Hubungan antara M_s dan M_w bisa dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Hubungan antara M_s dan M_w

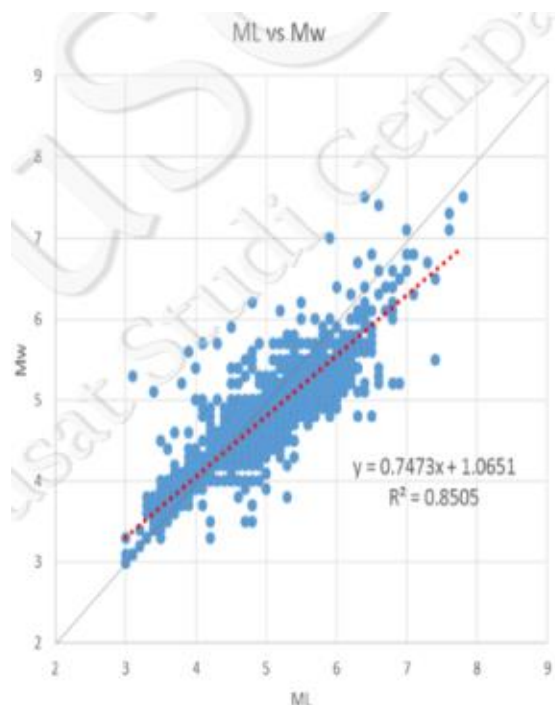
(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

3.3.3 Konversi M_L ke dalam M_w

Dalam kaitannya dengan konversi M_L ke M_w , hasilnya hampir sebanding, dan (M_L) dianggap dapat mewakili M_w , sehingga konversi tidak diperlukan. PusGen melakukan analisis untuk mengevaluasi stabilitas dan kualitas katalog. Katalog dibagi menjadi dua periode, yaitu tahun 1963-1990 dan 1991-2016.

Katalog dibagi menjadi 2 bagian yaitu tahun 1963-1990 dan 1991-2016. Katalog 1963-1990 diasumsikan bisa mewakili pola seismatis masa lalu dan unruk tahun 1991-2006 digunakan untuk asumsi perwakilan pola seismatis di masa sekarang. Hasil dari analisis PusGen dari kedua periode tersebut memberikan pola yang cukup mirip sehingga bisa disimpulkan oleh PusGen 2017 cukup stabil dan bisa digunakan.

Hubungan antara M_L dan M_w bisa dilihat pada Gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3.13 Hubungan antara M_L dan M_w

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

3.4 Intensitas Gempa

Intensitas gempa adalah sejauh mana dampak kerusakan terjadi di lokasi tertentu sebagai hasil dari gempa bumi, dan ini dapat dilihat dari pengamatan efek gempa pada infrastruktur dan manusia di area tersebut. Perbedaan antara intensitas gempa dan magnitudo adalah bahwa magnitudo mengukur besarnya energi yang dilepaskan oleh gempa bumi di sumbernya, sementara intensitas mengukur kerusakan dan dampak gempa bumi yang dapat diamati di lokasi tertentu.

Intensitas gempa digunakan untuk mengukur kerusakan dan dampak gempa bumi, dan tidak semua lokasi akan memiliki intensitas yang sama. Ini bergantung pada jarak dari episenter dan karakteristik geologi serta infrastruktur lokal. Skala intensitas yang digunakan untuk mengukur hal ini pertama kali dikenal sebagai skala *Rossi-Farel*, yang memiliki sepuluh derajat, dan kemudian disempurnakan oleh Wood dan Neumann di Amerika pada tahun 1931. Skala ini dikenal sebagai *Modified Mercalli Intensity* (Skala MMI) dan diwakili dalam angka Romawi.

Sistem yang digunakan untuk menggambarkan intensitas gempa bumi adalah skala intensitas gempa bumi Mercalli, yang dikenal sebagai *Modified Mercalli Intensity* (Skala MMI). Skala ini mengelompokkan tingkat kekuatan gempa bumi (magnitudo) dengan efek yang dirasakan oleh penduduk di lokasi tempat terjadinya gempa. Efek gempa bumi dibagi menjadi dua belas (XII) tingkat pada wilayah berpenduduk, yang disusun oleh Mercalli dan mampu menggambarkan kerusakan yang terjadi pada berbagai tingkat intensitas gempa dengan akurat.

Tingkat skala intensitas gempa bumi bisa dilihat pada tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3.6 Magnitudo, Efek Karakteristik, Frekuensi dan Skala MMI Gempa Bumi (Calvi & Pinho, 2006)

Magnitudo (SR)	Efek karakteristik guncangan skala pada daerah penduduk	Jumlah pertahun	Skala MMI
< 3,4	Hanya terekam oleh seismograf	800.000	I
3,5 – 4,2	Dirasakan oleh beberapa orang	30.000	I dan II
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-jembatan terpuntir tembok-tembok retak	15	X
7,4 – 7,9	Kerusakan besar bangunan-bangunan ambruk	4	XI
>8,0	Kerusakan total, gelombang-gelombang terasa dipermukaan tanah, benda-benda terlempar	satu kali dalam 5-10 tahun	XII

(Sumber: Calvi & Pinho, 2006)

3.4 Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan yaitu sebuah parameter yang menunjukkan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Pada bangunan yang berdiri di atas tanah pasti memerlukan kestabilan tanah supaya bangunan tersebut tetap stabil. Percepatan getaran tanah maksimum yaitu nilai percepatan getaran tanah yang paling besar diantara percepatan getaran tanah yang terjadi di suatu lokasi akibat gelombang gempa bumi untuk menghitungnya, perlu mempertimbangkan beberapa faktor, termasuk jarak dari sumber gempa (magnitudo) ke titik perhitungan dan juga karakteristik tanah di lokasi tersebut, seperti nilai periode dominan tanah. Dengan memperhitungkan faktor-faktor ini, kita dapat menentukan seberapa besar percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi selama gempa bumi di suatu tempat.

Percepatan tanah dan intensitas gempa adalah dua parameter yang erat kaitannya dan sangat relevan dalam perencanaan dan analisis kekuatan struktur bangunan terhadap gempa bumi. Percepatan tanah mengukur percepatan gelombang gempa yang mencapai permukaan bumi, dan satuan yang umum digunakan adalah sentimeter per detik kuadrat (cm/s^2). Percepatan tanah ini diukur dengan menggunakan alat yang disebut *accelerograph* atau *accelerometer*.

Faktor – faktor diatas dapat disebut dengan parameter percepatan tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). Metode yang digunakan untuk menghitung Percepatan tanah maksimum adalah dengan menggunakan persamaan atenuasi Joyner dan Boore (1988) dan Fukushima dan Tanaka (1990) .

Percepatan tanah atau percepatan gelombang gempa yang mencapai permukaan bumi memang penting untuk dikaji dalam analisis gempa bumi. *Peak Ground Acceleration* (PGA) mengacu pada nilai maksimum dari percepatan tanah yang terjadi selama gempa bumi. Ini adalah parameter penting dalam merencanakan dan mengevaluasi ketahanan struktur bangunan terhadap gempa.

Percepatan tanah maksimum (PGA) akan menghasilkan informasi terhadap kekuatan gempa yang pernah terjadi pada suatu wilayah. Tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi tergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan itu sendiri, kondisi geologi dan geoteknik lokasi bangunan yang dibangun, dan

percepatan tanah di lokasi bangunan akibat dari getaran gempa bumi yang terjadi. Faktor dari sumber kerusakan ini dinyatakan dalam parameter percepatan tanah, sehingga data PGA akibat dari getaran gempa bumi pada suatu lokasi menjadi penting untuk bisa melukiskan tingkat resiko gempa bumi di suatu area tertentu. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi di suatu area, semakin besar resiko gempa bumi akan muncul dan terjadi.

Pengelompokan tingkat resiko gempa bumi yang terjadi di suatu area berdasarkan nilai dari intensitas gempa bumi dan juga nilai percepatan tanah maksimum.

Tingkat resiko gempa bumi dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Resiko Gempa Bumi (Calvi & Pinho, 2006)

No	Tingkat Risiko	Percepatan (m/s ²)	Intensitas (MMI)
1	Risiko sangat kecil	<0,25	<VI
2	Risiko kecil	0,25-0,50	VI-VII
3	Risiko sedang satu	0,50-0,75	VII-VIII
4	Risiko sedang dua	0,75-1,00	VII-VIII
5	Risiko sedang tiga	1,00-1,25	VII-VIII
6	Risiko besar satu	1,25-1,50	VIII-IX
7	Risiko besar dua	1,50-2,00	VIII-IX
8	Risiko besar tiga	2,00-3,00	VIII-IX
9	Risiko sangat besarsatu	3,00-6,00	IX-X
10	Risiko sangat besar	>6,00	>X

(Sumber: Calvi & Pinho, 2006)

3.5 Pengaruh Percepatan Tanah

Gelombang gempa bumi yang melewati lapisan sedimen atau batuan tertentu dapat menyebabkan resonansi. Resonansi adalah fenomena yang terjadi ketika gelombang gempa bumi memiliki frekuensi atau periode yang sama dengan frekuensi alami atau periode dominan dari lapisan tanah atau struktur tertentu. Ketika resonansi terjadi, getaran tanah atau struktur dapat meningkat secara signifikan. Bangunan yang ada di atas dari gelombang ini akan menerima getaran-getaran yang sama dengan getaran tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Getaran ini arahnya bisa diuraikan menjadi 2 komponen yaitu komponen vertikal dan komponen horizontal. Komponen horizontal menyebabkan keadaan bangunan seperti diayun, apabila bangunan itu tinggi, maka bisa digambarkan seperti bandul-bandul yang mengalami getaran paksaan (*force vibration*) sehingga sangat berbahaya. Sedangkan komponen vertikal pada umumnya tidak lebih berbahaya daripada komponen horizontal karena searah dengan gaya gravitasi bumi.

Menurut Sulaiman (2008) proses gaya yang mengenai bangunan yaitu sebagai berikut ini.

1. Gempa bumi adalah fenomena alam yang menghasilkan energi gelombang yang menjalar dipermukaan tanah. Jika gelombang ini sampai ke pondasi bangunan dan sudah menggerakkan bangunan, pondasi yang awal mulanya diam akan merespon dan getaran yang berupa reaksi inersia yang arahnya berlawanan dengan kinerja getaran yang diterima pondasi, begitu juga terjadi dalam struktur batuan tanah untuk merespon getaran gempa.
2. Getaran yang diteruskan sampai ke bagian atas akan diteruskan juga ke bagian bawah. Namun pada gaya horizontal ini tidak bekerja murni pada bangunan karena juga diimbangi oleh gaya berat bangunan

3.6 Parameter Dinamik Tanah

Muntafi, (2012) mengatakan Respon tanah ditentukan oleh parameter dinamik tanah. Parameter dinamik yang digunakan dalam analisis respon dinamika tanah adalah modulus geser maksimum (G_{max}), kecepatan rambat gelombang geser (V_s) dan redaman (ξ). Perilaku tanah bersifat nonlinier walaupun dengan regangan yang sangat kecil. Saat amplitud regangan geser

meningkat, perilaku nonlinier ini menyebabkan kekakuan tanah berkurang dan redaman bertambah. Hubungan kekakuan dan regangan dapat ditunjukkan dengan dua cara yaitu dengan kurva regangan tegangan (backbone) nonlinier dan kurva modulus geser. Pengujian laboratorium menunjukkan bahwa kekakuan dinamik pada prinsipnya tergantung pada kepadatan tanah, tegangan efektif, plastisitas tanah dan amplitude regangan. Pada pendekatan linier perpotongan modulus geser merupakan hasil modulus geser maksimal (modulus geser pada tingkat regangan yang sangat rendah) G_{max} , dan faktor reduksi modulus G/G_{max} . Parameter dinamik tanah diperoleh melalui pengujian di lapangan dan laboratorium.

Berikut merupakan korelasi antara nilai V_s dengan SPT bisa dilihat pada Tabel 3.8 dibawah ini.

Tabel 3.8 Korelasi antara V_s dengan SPT

Referensi	Korelasi V_s (m/det)
Ohta, goto (1978)	$V_s = 85,3N^{0,341}$
Imai, Tonouchi (1982)	$V_s = 96,9N^{0,314}$
Sykora, Stokoe (1983)	$V_s = 101N^{0,29}$

(Sumber: Barros,1991 dalam Irsyam,2000)

3.7 Penentuan Percepatan Gempa menurut SNI 1726-2019

Pada SNI 1726-2019 memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di suatu lokasi harus dianalisis berdasarkan lapisan tanah paling atas hingga kedalaman 30 meter. Penetapan kelas situs harus melibatkan penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang harus dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau seorang ahli desain geoteknik bersertifikat. Setidaknya, dua dari tiga parameter tanah harus diukur secara independen, dan jika kondisi tanah terburuk ditemukan, itu

harus digunakan sebagai dasar untuk menentukan kelas situs. Jika data tanah spesifik hingga kedalaman 30 meter tidak tersedia, seorang ahli geoteknik bersertifikat dapat melakukan estimasi sifat-sifat tanah dan menyusun laporan penyelidikan tanah sesuai dengan kondisi geotekniknya. Jika tidak ada informasi tanah yang cukup untuk menentukan kelas situs, kelas situs SE harus digunakan kecuali data geoteknik atau otoritas yang berwenang menunjukkan kelas situs yang berbeda. Penetapan kelas situs SA dan SB tidak diperbolehkan jika terdapat lebih dari 3 meter lapisan tanah antara dasar fondasi atau rakit dan permukaan batuan dasar.

Penetapan kelas situs SC, SD, dan SE harus dilakukan dengan menggunakan sedikitnya hasil pengukuran dua dari tiga parameter V_s , N , dan S_u , yang dihitung sesuai SNI 1726-2019 berikut:

1. V_s lapisan 30 m paling atas (metode v_s),
2. N lapisan 30 m paling atas (metode N), dan
3. N_{Ch} untuk lapisan tanah nonkohesif ($PI > 20$) 30 m paling atas, S_u untuk lapisan tanah kohesif ($PI > 20$) 30 m paling atas (metode u_s). Bila N_{Ch} dan S_u menghasilkan kriteria yang berbeda, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan.

Untuk batuan kelas situs SB, yang juga dikenal sebagai referensi batuan dasar, kecepatan gelombang geser harus ditentukan dengan mengukur lapangan atau diestimasi oleh seorang ahli geoteknik, ahli geologi teknik, atau ahli seismologi yang memiliki kompetensi dalam bidangnya. Ini berlaku khususnya untuk batuan yang memiliki tingkat rekahan dan pelapukan sedang. Jika kecepatan gelombang geser tidak diukur untuk batuan yang lebih lembut dengan tingkat rekahan atau pelapukan yang lebih signifikan, maka situs tersebut akan diklasifikasikan sebagai kelas situs SC. Untuk situs batuan keras, kelas situs SA, pengukuran kecepatan gelombang geser di lapangan atau pada profil batuan dengan karakteristik serupa dalam formasi yang sama, termasuk tingkat pelapukan dan retakan yang setara atau lebih. Jika kondisi batuan keras diketahui hingga kedalaman 30 meter, maka pengukuran kecepatan gelombang geser di permukaan dapat diekstrapolasi untuk mendapatkan v_s .

3.8 Fungsi Atenuasi

Untuk menyelesaikan permasalahan diatas perlu dilakukan atenuasi untuk mendapatkan nilai yang ingin dicari berikut beberapa atenuasi yang dipakai:

1. Joyner & Boore (1988).

Fungsi atenuasi yang diperoleh oleh Joyner & Boore adalah fungsi atenuasi untuk percepatan horizontal maksimum, kecepatan horizontal maksimum. Fungsi ini menggunakan data dari North America dan pertama kali dipublikasikan pada tahun 1981. Khusus untuk percepatan horizontal maksimum, persamaan yang diusulkan oleh Joyner & Boore adalah :

$$a = 10^{(0,43+0,23(Mw-6)-\log(r)-0,0027.r)}$$

dimana:

a = Percepatan getaran (g)

Mw = magnitudo gempa

r = jarak terdekat patahan dari titik tuju (km)

2. Fukushima & Tanaka (1990)

Fungsi ini diciptakan untuk menghitung percepatan maksimum horizontal yang berlaku pada daerah yang berdekatan dengan Jepang sebagai akibat dari gempa bumi. Hasil rumusan dari fungsi atenuasi ini adalah sebagai berikut:

$$a = 0.41Mw - \log(R + 0,032 \times 100,41Mw) - 0,0034R + 1,30$$

dimana:

a = Percepatan getaran (g)

Mw = magnitudo gempa

r = jarak terdekat patahan dari titik tuju (km)

3.9 *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*

DSHA dasar adalah suatu proses yang sederhana namun bermanfaat, terutama di daerah yang memiliki aktivitas tektonik yang tinggi dan telah terdokumentasikan dengan baik. Proses ini bertujuan untuk menentukan gerakan gempa maksimum yang dapat dipercayai (MCE) di suatu lokasi. Langkah-langkah dalam proses ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi zona sumber gempa di sekitar lokasi - ini bisa berupa kesalahan tertentu atau sumber gempa yang terdistribusi.
2. Mengidentifikasi jarak dari setiap sumber ke lokasi (terutama jika ada sumber gempa terdistribusi di sekitar lokasi).
3. Menentukan besaran gempa dan karakteristik lainnya (seperti panjang kesalahan, interval pengulangan) untuk setiap sumber.
4. Menetapkan parameter respons yang relevan untuk setiap sumber berdasarkan besaran gempa, jarak, kondisi tanah, dll., baik dengan menggunakan amplop respon atau nilai rata-rata dari beberapa hubungan gerakan tanah.
5. Menghitung nilai dari masing-masing sumber dan menggunakan nilai maksimumnya. DSHA didasarkan pada fitur tektonik, sehingga cenderung bersifat konservatif karena mengasumsikan bahwa gempa maksimum yang mungkin terjadi adalah "mampu" di lokasi kesalahan yang paling dekat dengan lokasi yang akan dinilai.

DSHA sering digunakan di California karena wilayah tersebut memiliki pengetahuan yang baik tentang kesalahan dan aktivitas gempa. Namun, ketika sumber gempa terdistribusi dianggap dalam analisis, perlu menentukan jarak dari lokasi yang akan dinilai. Hal ini menjadi lebih rumit ketika sumber gempa berdekatan dengan lokasi. Terkadang, teknik penilaian khusus atau perhitungan tambahan digunakan untuk memberikan hasil yang diinginkan. Meskipun DSHA adalah metode yang sederhana, ia tidak memperhitungkan probabilitas terjadinya gempa pada suatu kesalahan.

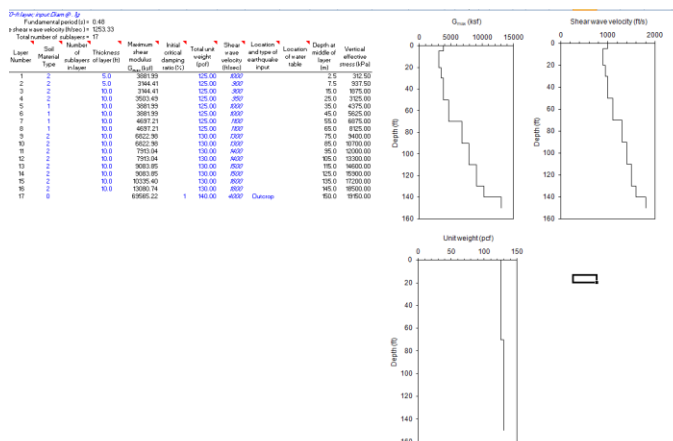
3.10 EERA (*Equivalent-linear Earthquake Response Analyses*)

EERA adalah sebuah perangkat lunak yang merupakan implementasi dari prinsip-prinsip yang telah dikenal dalam analisis respons gempa linear. Perangkat lunak ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1998 dengan menggunakan kode linear setara (Bardet dkk., 2000). EERA dirancang untuk menganalisis respons tanah pada sistem yang tidak terbatas dengan lapisan horizontal dan fokus pada pemahaman gelombang viskoelastik geser secara vertikal. EERA memiliki kemampuan untuk menghitung respons dari lapisan horizontal antara tanah dan batu, serta menghasilkan gelombang geser secara vertikal.

Dalam penggunaannya, EERA mengasumsikan bahwa perilaku siklis tanah dapat disimulasikan dengan menggunakan model linear setara. Konsep ini telah diterima luas dalam bidang rekayasa seismik dan geoteknik (Idriss dan Boulanger, 2016; Seed dan Idriss, 1970; Kramer, 1996).EERA bisa menganalisis seperti iterasi, rasio regangan untuk efek durasi gempa,percepatan getaran tanah dan ampfikasi. Pada penelitian ini dibatasi hanya mencari percepatan getaran tanah / PGA saja.

Didalam EERA untuk menghitung percepatan gempa perlu memasukkan profil tanah berupa kedalaman lapisan tanah dan kecepatan gelombang geser serta maksimum percepatan gempa.

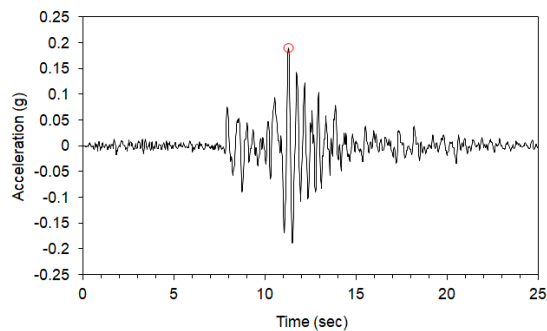
Berikut lembar kerja didalam *software* EERA yang diperlukan untuk menghitung percepatan gempa bisa dilihat pada Gambar 3.14 dan 3.15 berikut ini.



Gambar 3.14 Profil Tanah EERA

Number of sublayer = 1
 Type of sublayer = Outcrop
 Depth at top of sublayer (ft) = 0
 Maximum acceleration (g) = 0.190
 Time of maximum acceleration (sec) = 11.28
 Mean Square frequency (Hz) = 2.42
 Maximum relative velocity (ft/s) = 0.49255
 Time of maximum relative velocity (sec) = 11.40
 Maximum relative displacement (ft) = -0.03431
 Time of maximum relative displacement (sec) = 11.30

Time (sec)	Absolute Acceleration (g)	Relative Velocity (ft/s)	Relative Displacement (ft)
0	0.000233246	-0.00024305	-3.65226E-05
0.02	0.000289267	0.000792712	-3.1131E-05
0.04	0.00025239	0.001342768	-8.52865E-06
0.06	0.000265949	0.00177054	2.1656E-05
0.08	0.00013762	0.002523795	6.51943E-05
0.1	0.000172269	0.00250332	0.000118506
0.12	-0.000573971	0.002583958	0.000166732
0.14	-0.002721998	0.001990719	0.000215321
0.16	-0.001796411	0.000271189	0.000237869
0.18	-0.000586659	-0.000627653	0.000232886
0.2	-0.001907727	-0.002017876	0.000209247
0.22	-0.000141762	-0.004474073	0.00014392



Gambar 3.15 Output Percepatan Tanah

3.11 Likuefaksi

Menurut Mario (2019), likuefaksi adalah kondisi di mana lapisan tanah kehilangan kekuatannya akibat pemberian beban siklik, seperti yang disebabkan oleh getaran gempa bumi atau beban berulang dengan cepat lainnya. Akibat dari likuefaksi, tanah yang semula berwujud padat akan berubah menjadi keadaan cair (*liquefied*), sehingga tidak lagi mampu mendukung atau menahan beban yang berada di atasnya. Tanah yang cenderung mengalami likuefaksi biasanya adalah tanah berpasir atau memiliki kandungan pasir yang tinggi, dan dalam kondisi jenuh air. Air dalam tanah akan mengisi rongga-rongga tanah, dan saat terjadi tekanan, seperti gempa, air tersebut akan mempengaruhi kerapatan tanah, sehingga menyebabkan hilangnya kekuatan geser tanah hingga mencapai nol.

Sebelum gempa terjadi, tekanan air dalam tanah cenderung rendah. Namun, setelah gempa terjadi, tekanan air dalam tanah bisa meningkat secara signifikan. Peningkatan tekanan air ini dapat menyebabkan pergerakan partikel tanah menjadi lebih mudah, karena air yang mengisi rongga-rongga tanah membuat tanah menjadi lebih lunak atau cair. Hal ini adalah salah satu faktor yang berkontribusi pada proses likuefaksi tanah selama gempa bumi, di mana tanah yang semula padat kehilangan kekuatan gesernya dan berubah menjadi cair akibat peningkatan tekanan air.

Pada lapisan tanah pasir dan jenuh air, pengaruh dari beban siklik atau getaran gempa akan mengalami perubahan sifat tanah dari sifat yang awalnya *solid* menjadi bersifat *liquid*, sehingga mengakibatkan berkurangnya tegangan efektif tanah dan kehilangan daya dukungnya bisa dilihat pada persamaan (3.5) berikut ini.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (3.5)$$

Keterangan :

σ' = Tegangan efektif

σ = Tegangan total (berat permukaan tanah)

u = Tekanan air pori

Penurunan kekuatan geser pasir dan modulus geser pasir seiring dengan turunnya tegangan efektif mengakibatkan tanah terkesan menjadi cair atau

berubah menjadi lumpur. Definisi tegangan efektif yaitu apabila terjadinya gaya antar partikel-partikel pasir. Tegangan efektif bisa menjadi bernilai nol pada kasus yang lebih ekstrim, apabila tegangan efektif bernilai nol menandakan bahwa tidak adanya gaya antar partikel pasir tersebut yang menyebabkan tanah akan berubah menjadi lebih encer dan tidak mampu menopang beban yang berada di atasnya. Kasus seperti ini dapat menyebabkan longsornya sebuah bangunan dan bisa menyebabkan amblasnya bangunan bahkan bisa tenggelam kedalam tanah.

3.12 Metode Evaluasi Potensi Likuefaksi

Evaluasi potensi likuefaksi dapat dilakukan dengan melakukan uji beban siklik pada sampel tanah tidak terganggu atau karakteristik pada tanah dapat diukur dengan pengujian lapangan. Penelitian ini untuk mencari potensi likuefaksi dilakukan dengan menggunakan data N-SPT dengan menggunakan metode Youd-Idriss (2001). Prosedur dalam mencari evaluasi likuefaksi standarnya membutuhkan nilai rasio tegangan siklik dan nilai tahanan siklik yang bisa didapatkan dengan nilai CPT (sondir), SPT (bor dalam), *shear velocity*, dan beberapa pengujian seperti *becker penetration test*. Pelaksanaan penelitian kali ini dibatasi dengan hanya menggunakan analisis data dari hasil pengujian SPT.

3.12.1 Analisis Nilai SPT

SPT (*Standart Penetration Test*) merupakan salah satu pengujian tanah yang bertujuan memberikan informasi mengenai data-data yang biasa digunakan sebagai data penyelidikan tanah di bidang geoteknik, SPT merupakan pengujian tanah yang dilakukan dengan sistem dinamis. Hasil dari pengujian SPT ini adalah nilai kepadatan tanah. Nilai SPT harus dianalisis terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai yang dibutuhkan untuk penyelidikan likuefaksi.

Analisa nilai SPT lapangan memerlukan beberapa langkah yang perlu dilakukan untuk mendapat nilai SPT terkoreksi seperti persamaan (3.6) dibawah ini.

$$(N1)_{60} = N_m \times C_E \times C_N \times C_B \times C_R \times C_S \quad (3.6)$$

Keterangan:

$(N1)_{60}$ = Nilai N-SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian lapangan

Nm = diukur ketahanan penetrasi standar

CN = faktor normalisasi Nm terhadap tegangan *overburden*

CE = koreksi untuk palu rasio energi (ER)

CB = faktor koreksi untuk diameter lubang bor

CR = faktor koreksi untuk panjang batang

CS = koreksi untuk *samplers liners*

Dimana Nm merupakan nilai SPT, dan yang lainnya ialah faktor koreksi (normalisasi) yang dapat ditentukan melalui tabel 3.8 dan SPT *Hammer Efficiency* pada tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.8 Nilai Faktor Koreksi untuk (N1)60

Faktor	Variabel Alat	Simbol	Koreksi
Tegangan Total	-----	CN	$\left(\frac{Pa}{\sigma_{vo}}\right)^n$
	-----	CN	$CN \leq 1,7$
Rasio Energi	Hammer Donat	CE	0,5 – 1,0
	Safety Hammer	CE	0,7 – 1,2
	Automatic Hammer	CE	0,8 – 1,3
Diameter Lubang	65-115 mm	CB	1
	150 mm	CB	1,05
	200 mm	CB	1,15
Panjang Rod	< 3 m	CR	0,75
	3 - 4 m	CR	0,8
	4 - 6 m	CR	0,85
	6 - 10 m	CR	0,95
	10-30 m	CR	1
Metoda Sampling	Sampler standard	CS	1
	Sampler standard	CS	1,1 – 1,3

(Sumber: Youd dan Idriss, 1997)

Tabel 3.9 SPT Hammer Efficiency

<i>Country</i>	<i>Hammer Type</i>	<i>Hammer Release Mechanism</i>	<i>Hammer efficiency, EM</i>
Argentina	Donut	Cathead	0.45
Brazil	Pin Weight	Hand Dropped	0.72
China	Automatic	Trip	0.6
	Donut	Hand Dropped	0.55
	Donut	Cathead	0.5
Colombia	Donut	Cathead	0.5
Jepang	Donut	Tombi Triger	0.78-0.85
	Donut	Cathead 2 urn + Pecial realise	0.65-0.67
UK	Automatic	Trip	0.73
USA	Safety	2 turns on cathead	0.55-0.60
Venezuela	Donut	2 turns on cathead	0.45
	Donut	Cathead	0.43

(Sumber: Clayton, 1990)

3.13 Metode Youd-Idriss (2001)

Dalam metode ini, Youd dan Idriss menggunakan nilai rasio ketahanan siklus (CRR) dan rasio tekanan siklus (CSR). CRR adalah nilai yang dapat menunjukkan kapasitas tanah untuk menahan likuefaksi secara keseluruhan. Dalam kasus lain, CRR dapat didefinisikan sebagai kapasitas tanah untuk menahan tegangan siklik yang terjadi di wilayah tersebut, yang dapat memicu likuefaksi di wilayah yang ditinjau. Penulis menggunakan data SPT untuk penelitian ini, tetapi data CPT (*Cone Penetration Test*), SPT (*Standard Penetration Test*), BPT (*Becker Penetration Test*), dan Vs (*Shear Wave Velocity*) dapat digunakan untuk mendapatkan nilai ini. CSR adalah perbandingan tegangan geser gempa rata-rata dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Nilai percepatan gempa (a) memengaruhi lapisan tanah, yang memengaruhi nilai ini.

Metode CRR bisa dilihat pada persamaan 3.7 dan 3.8 dibawah ini.

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - N_{1(60)CS}} + \frac{N_{1(60)CS}}{135} + \frac{50}{[(10(N_{1(60)CS} + 45))^2]} - \frac{1}{200} \quad (3.7)$$

$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF \quad (3.8)$$

Nilai $CRR_{7,5}$ merupakan nilai CRR yang dihitung saat magnitudo momen gempa (M_w) sebesar 7,5 SR.

Nilai MSF (*Magnitude Scale Factor*) menurut Youd-Idriss (2001) dapat dicari dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.9 berikut ini.

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (3.9)$$

Keterangan:

M_w : Magnitudo momen gempa

Untuk mencari nilai $N_{1(60)CS}$ bisa dicari dengan cara persamaan 3.10 berikut.

$$N_{1(60)CS} = \alpha + \beta (N_{1(60)}) \quad (3.10)$$

Nilai α dan β dipengaruhi oleh nilai persentase FC (*Fines Content*),

$\alpha = 0, \beta = 1, FC \leq 5\%$,

$\alpha = \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)\right) \right) 5\% < FC < 35\%$,

$\beta = \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) 5\% < FC < 35\%$,

$\alpha = 5.0 \beta = 1.2 FC \geq 35\%$

Perhitungan CSR dapat dicari dengan menggunakan rumus yang dapat dilihat pada persamaan 3.11 berikut.

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times rd \quad (3.11)$$

Keterangan:

a_{max} = Akselerasi puncak horizontal pada permukaan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi,

σ_v = Tegangan *overburden* vertikal efektif,

g = Gravitasi, dan

rd = Koefisien tegangan reduksi

Koefisien reduksi dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan (Liao dan Whiteman, 1968) bisa dilihat pada persamaan (3.12) – (3.15) berikut ini.

$$Rd = 1,0 - 0,00765Z \text{ untuk } Z \leq 9,15 \text{ m} \quad (3.12)$$

$$R_d = 1,174 - 0,0267Z \text{ untuk } 9,15 \text{ m} < Z \leq 23 \text{ m} \quad (3.13)$$

$$R_d = 0,774 - 0,008z \text{ untuk } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \quad (3.14)$$

$$R_d = 0,5 \text{ untuk } z \geq 30 \text{ m} \quad (3.15)$$

Setelah analisis diatas perlu adanya analisis faktor keamanan dimana faktor keamanana sebagai sebuah pegangan apakah tanah yang dianalisis tersebut berpotensi terjadi likuefaksi atau tidak. Faktor keamanan (FS) yang digunakan tidak diperbolehkan bernilai kurang dari satu dan jika FS kurang dari 1 maka tanah yang dianalisis mengalami likuefaksi. Perhitungan FS merupakan perhitungan yang menggunakan metode korelasi empiris yang telah dispekati oleh NCEER di tahun 1996 dan 1998. Persamaan bisa dilihat pada persamaan (3.16) berikut ini.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (3.16)$$

Keterangan:

Jika $FS < 1$, maka terjadi likuefaksi

Jika $FS = 1$, maka dalam kondisi kritis

Jika $FS > 1$, maka tidak terjadi likuefaksi

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data Penelitian

Data yang dipakai dalam penelitian ini yaitu data gempa dari USGS atau Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Provinsi Yogyakarta, data percepatan dibatuan dasar yang diambil dari SNI dan selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan software seismologi yang ada. Ketentuan data yang digunakan yaitu adalah data kejadian gempa dengan magnitudo minimum (M_w) adalah 5.

4.2 Instrumen Penelitian

Instrumen utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan seperangkat komputer. Kemudian Instrumen pendukung adalah penggunaan beberapa perangkat lunak (*software*) seperti program EERA dan Microsoft Excel.

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan untuk penelitian yaitu Rumah Sakit UII Daerah Istimewa Yogyakarta yang bisa dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Peta RS UII Yogyakarta

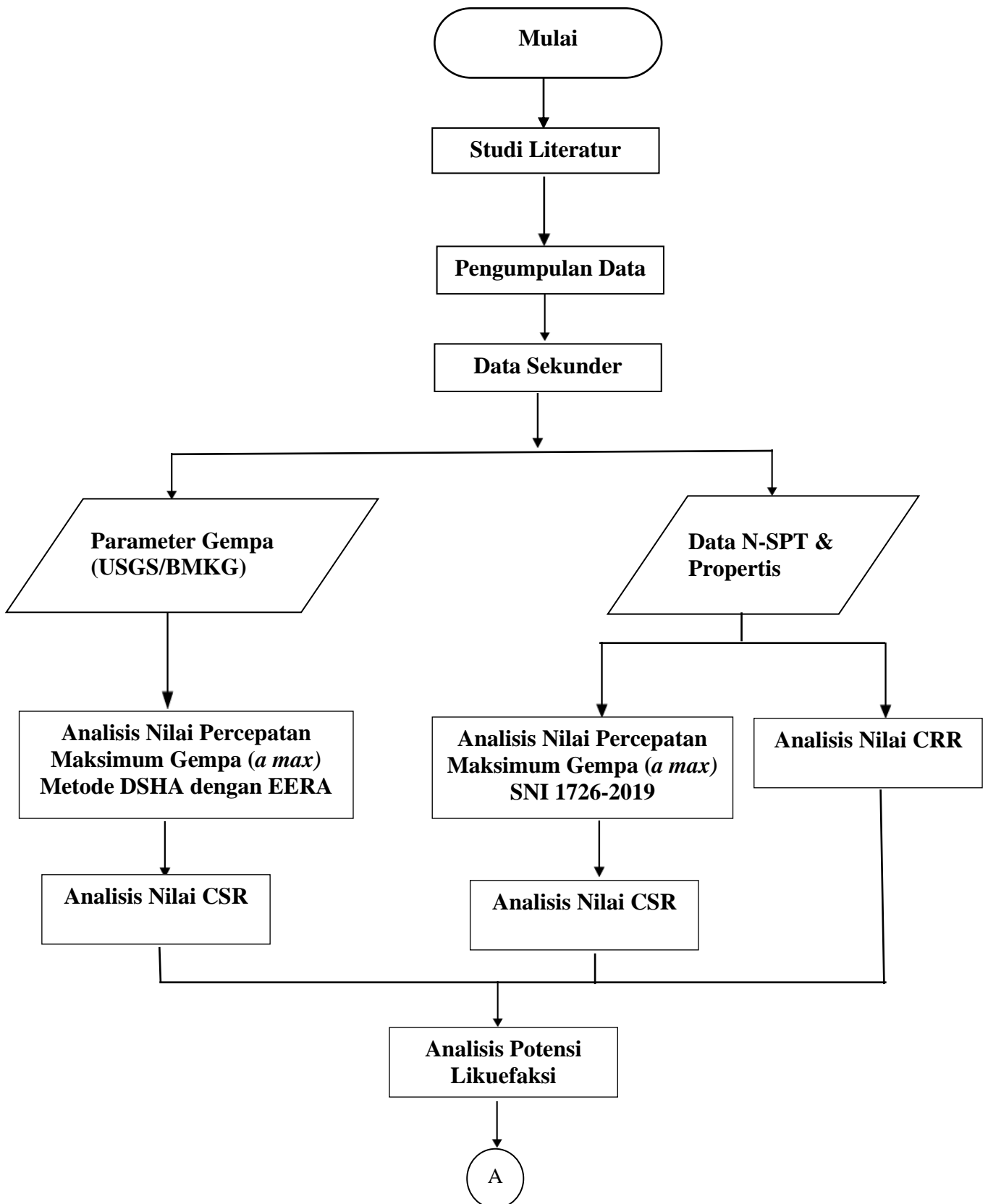
(Sumber: Google Earth Pro)

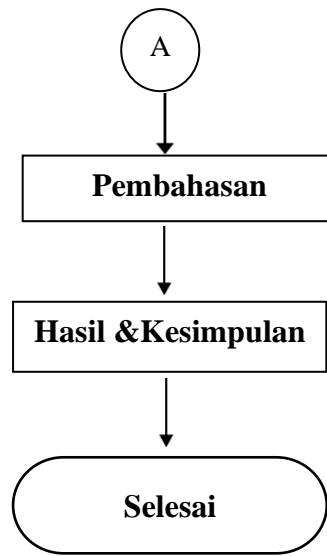
4.4 Analisis Data

Langkah-langkah atau analisis data yang harus diikuti untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

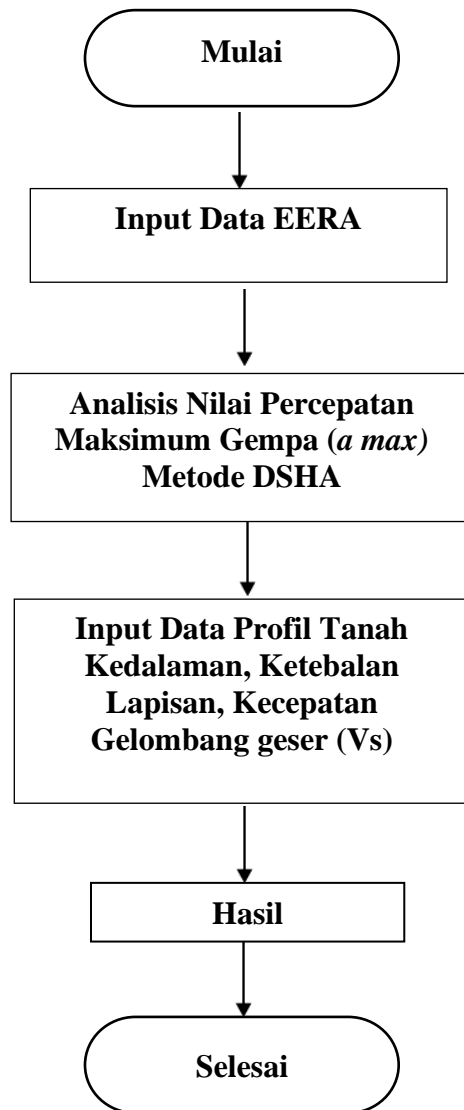
1. Menentukan daerah penelitian yaitu Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
2. Mencari parameter gempa tertinggi yang pernah terjadi di Yogyakarta
3. Mengklasifikasikan data gempa dengan magnitudo $M \geq 5,0$ SR
4. Menentukan nilai percepatan tanah maksimum dengan DSHA
5. Mencari respon spektrum sesuai dengan SNI 1726-2019
6. Mencari potensi likuefaksi setelah mengetahui nilai a_{max} .

4.5 Diagram Alir Penelitian





Gambar 4.2 Bagan Alir Tahapan Penelitian



Gambar 4.3 Bagan Alir Prosedur EERA

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Percepatan Gempa dengan Metode DSHA di Yogyakarta

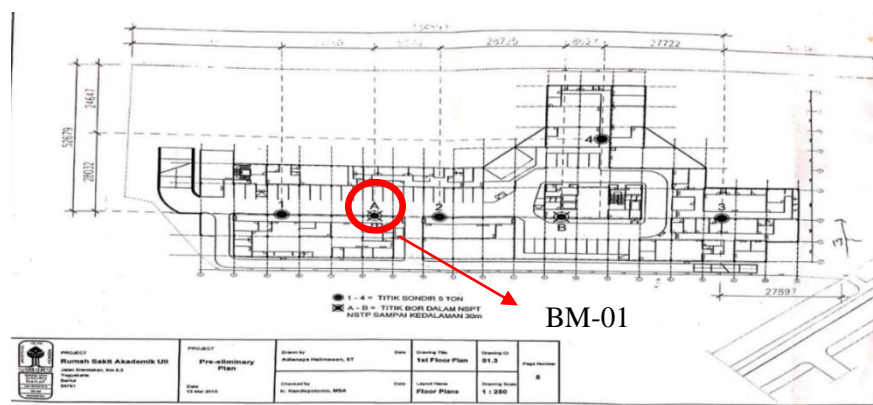
5.1.1 Data Umum

Penelitian ini memiliki objek yang akan di teliti berada di Rumah Sakit Akademik Universitas Islam Indonesia yang terletak di jalan Srandakan, RW 05, Jodog, Wijirejo, Kecamatan Pandak, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

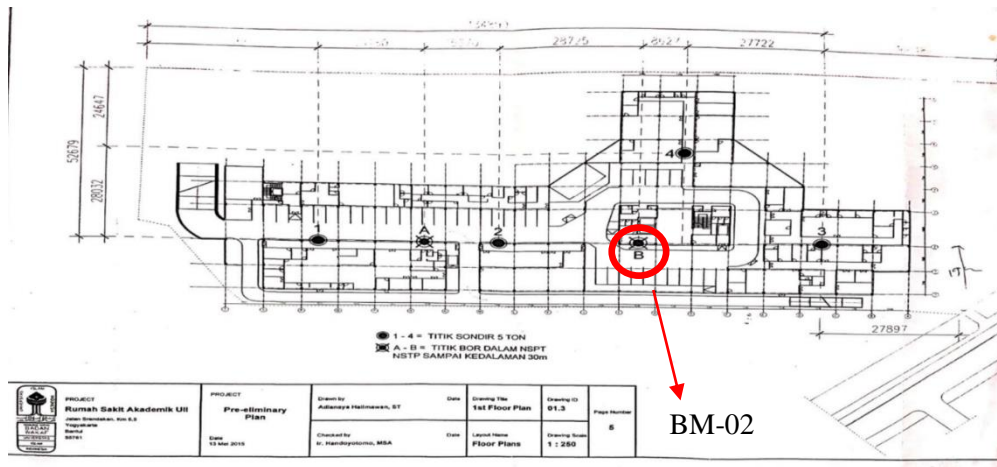
1. Pengeboran dilakukan di 2 (dua) titik dengan menggunakan bor mesin dengan kedalaman 26 meter.
2. Uji *Standart Penetration Test* (SPT) dilakukan pada setiap lubang bor dengan interval kedalaman SPT 2 meter .
3. Pengambilan contoh tanah yang berupa *undisturb*. Sampel tanah ini dilakukan untuk perubahan jenis tanah atau pada kedalaman tertentu yang dianggap mewakili sebagai kebutuhan desain pondasi.

5.1.2 Data Tanah

Lokasi dari 2 titik bor yang dilakukan di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yaitu titik BM-01 dan titik BM-02 dengan kedalaman muka air tanah sedalam 0,82 meter. Berikut adalah gambar lokasi titik BM-01 dan titik BM-02.



Gambar 5.1 Lampiran Lokasi RS UII BM-01



Gambar 5.2 Lampiran Lokasi RS UII BM-02

Data tanah yang berada di titik BM-01 dan BM-02 dapat dilihat pada Tabel 5.1 Data SPT berikut.

Tabel 5.1 Data SPT Tanah

No	Kedalaman (m)	BM-01		BM-02	
		Penetrasi (cm)	Nilai NSPT	Penetrasi (cm)	Nilai NSPT
1	0	0	0	0	0
2	2	30	27	30	50
3	4	30	25	30	14
4	6	30	27	30	26
5	8	30	43	30	29
6	10	30	32	30	33
7	12	30	40	30	41
8	14	30	12	30	12
9	16	30	22	30	13
10	18	30	16	30	19

Lanjutan Tabel 5.1 Data SPT Tanah

11	20	30	82	30	104
12	22	30	100	30	107
13	24	30	74	30	60
14	26	30	57	30	66

(Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Sipil FTSP UII,2015)

5.1.3 Klasifikasi Situs

Korban jiwa akibat gempa bumi umumnya disebabkan dari bangunan-bangunan gedung, rumah, maupun infrastruktur yang roboh atau runtuh karena baik struktur maupun pondasi tidak kokoh. Supaya struktur dan pondasi menjadi kokoh diperlukan analisis mengenai kondisi geologi bawah permukaan baik jenis batuan maupun kedalaman batuan dasarnya. Menurut Nakamura (2008) untuk menganalisis kondisi geologi seperti batuan yang ada di bawah permukaan yang digunakan sebagai penentuan tingkat kerawanan gempa bumi bisa digunakan parameter yang sangat signifikan yaitu kecepatan gelombang geser (V_s).

Jenis tanah suatu daerah juga bisa ditentukan dengan beberapa pengujian geoteknik, diantaranya selain kecepatan rambat gelombang geser (V_s) yaitu dengan nilai hasil tes penetrasi standar (N), dan nilai kuat geser niralir (S_u).

Klasifikasi tanah tersebut dapat dilihat berdasarkan SNI 1726-2019 pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Klasifikasi tanah berdasarkan SNI 1726-2019

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	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber: SNI 1726-2019)

Lanjutan Tabel 5.3 Rekapitulasi hasil perhitungan nilai \bar{N}

1	0	0	0	0	0	0	0
2	2	30	27	30	50	0,0741	0,04
3	4	30	25	30	14	0,08	0,143
4	6	30	27	30	26	0,074	0,077
5	8	30	43	30	29	0,465	0,069
6	10	30	32	30	33	0,625	0,061
7	12	30	40	30	41	0,05	0,049
8	14	30	12	30	12	0,167	0,167
9	16	30	22	30	13	0,091	0,154
10	18	30	16	30	19	0,125	0,105
11	20	30	82	30	104	0,024	0,019
12	22	30	100	30	107	0,02	0,019
13	24	30	74	30	60	0,027	0,033
14	26	30	57	30	66	0,035	0,030
Nilai \bar{N} BM-01						29,672	
Nilai \bar{N} BM-02						26,93	

Berdasarkan data tanah yang diambil dari Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia didapatkan nilai N 29,67 dan 26,93 maka kelas situs yang dipakai adalah SD (tanah sedang).

Berikut merupakan analisis data SPT menggunakan referensi Imai, Tonouchi (1982) untuk mencari nilai V_s :

1. Analisis V_s

Lapisan 1

$$V_s = 96,9N^{0,314}$$

$$V_s = 96,9.27^{0,314}$$

$$V_s = 272,755$$

2. Lapisan 2

$$V_s = 96,9N^{0,314}$$

$$V_s = 96,9.25^{0,314}$$

$$V_s = 266,242$$

3. Lapisan 3

$$V_s = 96,9N^{0,314}$$

$$V_s = 96,9.27^{0,314}$$

$$V_s = 272,755$$

Dari analisis V_s diatas bisa dilihat rekapitulasi perhitungan nilai V_s pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.4 Rekapitulasi hasil perhitungan nilai V_s

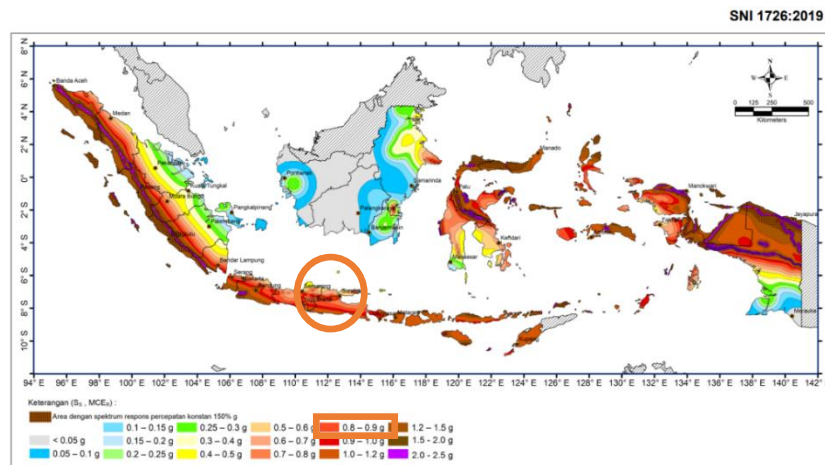
Kedalaman (m)	Nilai V_s BM-01	Nilai V_s BM-02
2	272,755	330,979
4	266,242	221,926
6	272,755	269,541
8	315,67	278,944
10	287,701	290,494
12	308,582	310,984
14	211,44	211,439
16	255,767	216,821
18	231,429	244,26
20	386,6	416,55
22	411,456	420,291
24	374,337	350,48
26	344,88	361,128

Dari analisis V_s diatas bisa disimpulkan bahwa tanah yang diambil dari Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yang dipakai adalah tanah sedang (SD).

5.1.4 Respon Spektrum

Langkah awal untuk menganalisis respon spektrum adalah mencari parameter gerakan tanah atau nilai S_s dan S_1 berdasarkan peta gempa SNI 1726-2019. Berikut peta parameter gerakan tanah menurut SNI 1726-2019.

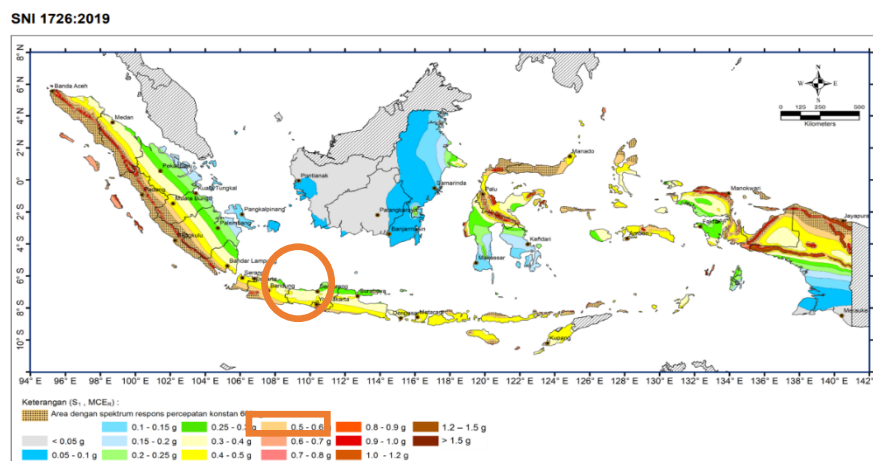
1. Analisis nilai S_s dan S_1



Gambar 5.3 Parameter Gerakan Tanah S_s menurut SNI 1726-2019

(Sumber : SNI 1726-2019)

Dilihat dari peta tersebut wilayah Yogyakarta yang merupakan letak dari Rumah Sakit UII parameter gerakan tanah berada di antara 0,9-1g dan akan digunakan 1g.



Gambar 5.4 Parameter Gerakan Tanah S_1 menurut SNI 1726-2019

(Sumber : SNI 1726-2019)

Dilihat dari peta tersebut wilayah Yogyakarta yang merupakan letak dari Rumah Sakit UII parameter gerakan tanah berada di antara 0,5g-0,6g dan digunakan 0,5g.

2. Analisis nilai F_a dan F_v

Untuk penentuan respon spektrum diperlukan suatu faktor amplifikasi sesismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik yaitu perepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan percepatan yang mewakili getaran pada periode 1 detik (F_v). Parameter respon spektrum percepatan gempa dapat dilihat pada tabel 5.5 dan 5.6 berikut ini.

Tabel 5.5 Koefisien Situs (F_a)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Dari analisis ya dibuat diperoleh nilai F_a adalah 1,1.

Tabel 5.6 Koefisien Situs (F_v)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_T					
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T = 0,5$	$S_T \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Dari analisis yang telah dibuat diperoleh nilai F_v adalah 1,8. Dengan nilai F_a dan F_v bisa dianalisis untuk nilai parameter respons spektrum percepatan pada periode pendek (S_{ms}) dan periode 1 detik (S_{m1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut sesuai dengan SNI 1726-2019.

Berikut analisis nilai S_{ms} dan S_{m1}

1. $S_{ms} = F_A \times S_s$

$$S_{ms} = 1,1 \times 1$$

$$S_{ms} = 1,1$$

$$2. S_{m1} = F_V \times S_1$$

$$S_{m1} = 1,8 \times 0,5$$

$$S_{m1} = 0,9$$

3. Analisis Percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} harus ditentukan melalui rumus berikut sesuai SNI 1726-2019.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Berikut analisis nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$1. S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{ms}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 1,1$$

$$S_{DS} = 0,73$$

$$2. S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{m1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,9$$

$$S_{D1} = 0,6$$

4. Analisis Spektrum respon desain

Untuk bisa menentukan respon spektrum dibutuhkan analisis T_0 , T_S , T_1 , dan S_A

Berikut adalah analisis T_0 , T_S , T_1 , dan S_A

$$1. T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,2 \times \frac{0,6}{0,73}$$

$$T_0 = 0,164$$

$$2. T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{0,6}{0,73}$$

$$T_S = 0,818$$

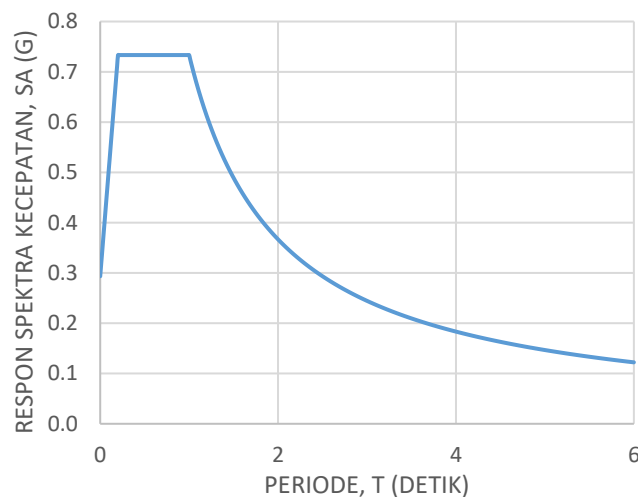
$$3. T_1 = 12 \text{ detik}$$

$$4. S_A = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_A = 0,73 \left(0,4 + 0,6 \times \frac{0}{0,16} \right)$$

$$S_A = 0,293$$

Dari analisis diatas maka bisa dibuat grafik respon spektrum. Grafik respon spektrum dapat dilihat pada gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Grafik Respon Spektrum

Respon Spektrum nantinya bisa menjadi acuan sebagai parameter untuk mencari nilai *acceleration* dan *a max*. Untuk mencari respon spektrum secara cepat bisa dilakukan dengan menginput lokasi tinjauan ke desain spektra Indonesia dan bisa di bandingkan dengan analisis manual yang dibuat.

Grafik respon spektrum menggunakan desain spektra Indonesia bisa dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum

(Sumber: rsa ciptakarya)

Setelah menginput koordinat maka akan dihasilkan grafik respon spektrum. Berikut hasil dari perhitungan grafik respon spektrum melalui desain spektra Indonesia.

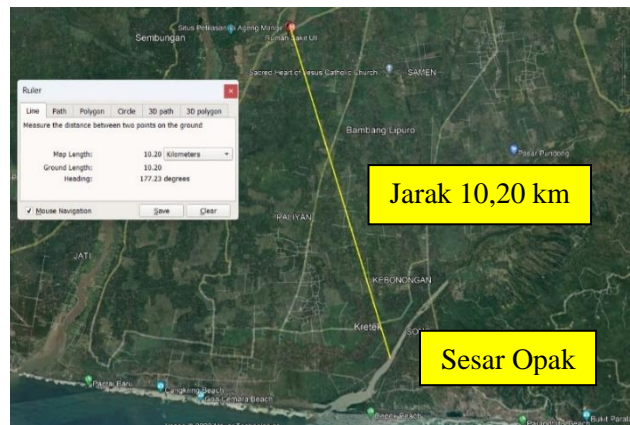
PGA	: 0,405 g
SS	: 1,070 g
S1	: 0,507 g
T0	: 0,20 g
Ts	: 0,99 detik
Sds	: 0,75 g
Sd1	: 0,74 g

5.2 Analisis DSHA untuk Rumah Sakit UII Yogyakarta

Mengacu pada peta tektonik dan sesar aktif di Indonesia, patahan opak atau Sesar Opak mempengaruhi gempa di sekitar kota Yogyakarta. Patahan ini pernah menyebabkan gempa besar pada 27 Mei 2006. Menurut PusGen 2017 *Magnitude* gempa mencapai 6,4 Mw yang mengakibatkan sekitar 1,5 juta orang kehilangan tempat tinggal.

5.2.1 Jarak Patahan ke Rumah Sakit UII Yogyakarta

Jarak yang digunakan untuk analisis DSHA ini yaitu menggunakan jarak terdekat antara sumber gempa dan titik yang ditinjau yaitu Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia. Jarak patahan ini dicari dengan menggunakan *software* Google Earth Pro dan dapat dilihat pada gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Jarak Patahan ke Rumah Sakit UII

Dari gambar 5.7 tersebut telah ditemukan jarak patahan sesar opak ke Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yaitu 10,20 km. *Slip rate* sesar opak menurut pusgen 2017 yaitu 5 mm/year. Rekapitulasinya dapat dilihat pada tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Magnitude Maksimum dan Jarak Sumber

Patahan	Magnitude	Slip Rate (mm/year)	Jarak ke RS UII (km)
Sesar Opak	6.4	5	10,20

5.2.2 Controlling Earthquake dengan persamaan atenuasi

Pada tahap ini dilakukan persamaan atenuasi untuk menentukan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*). Persamaan atenuasi yang diambil yaitu Joyner dan Boore (1988) dan Fukushima dan Tanaka (1990). Berikut analisisnya.

1. Sesar Opak

Patahan ini terdapat di sebelah selatan Yogyakarta dimana jarak patahan ke lokasi yang ditinjau yaitu Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia adalah 10.20 km. Setelah menganalisa patahan ini kemudian akan dianalisis percepatan batuan dasar (PGA). *Peak Ground Acceleration (PGA)* adalah percepatan puncak di

batuan dasar. Dengan mencari magnitudo maksimum gempa dari suatu patahan dan jarak dari sumber patahan ke titik yang ditinjau yaitu Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia, kita bisa mencari estimasi percepatan horizontal di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yang merupakan titik tinjau dengan persamaan atenuasi. Berikut persamaan atenuasi berdasarkan Joyner & Boore (1988) dan Fukushima & Tanaka (1990).

a. Joyner & Boore (1988)

Percepatan horizontal maksimum yang diusulkan oleh Joyner & Boore (1988) adalah :

$$a = 10^{(0,43+0,23(Mw-6)-\log(r)-0,0027.r)}$$

dimana:

$$a = \text{Percepatan getaran (g)}$$

$$Mw = 6,4$$

$$r = 10,20 \text{ km}$$

Diperoleh percepatan getaran sebagai berikut.

$$a = 10^{(0,43+0,23(6,4-6)-\log(10,20)-0,0027.10,20)}$$

$$a = 0,3061 \text{ g}$$

Jadi percepatan getaran menurut persamaan atenuasi Joyner & Boore (1988) sebesar 0,3061 g

b. Fukushima & Tanaka (1990)

Percepatan horizontal menurut Fukushima & Tanaka sebagai berikut.

$$a = 0.41Mw - \log(R + 0,032 \times 100,41Mw) - 0,0034R + 1,30$$

dimana:

$$a = \text{Percepatan getaran (g)}$$

$$Mw = 6,4$$

$$r = 10,20 \text{ km}$$

Diperoleh percepatan getaran sebagai berikut.

$$a = 0.41Mw - \log(R + 0,032 \times 100,41Mw) - 0,0034R + 1,30$$

$$a = 0.416,4 - \log(10,20 + 0,032 \times 100,41 \times 6,4) - 0,0034(10,20) + 1,30$$

$$a = 2,4142 \text{ g}$$

Jadi percepatan getaran menurut persamaan atenuasi Fukushima & Tanaka (1990) sebesar 2,4142 g. Berikut rekapitulasinya dapat dilihat pada tabel 5.8

Tabel 5.8 Koefisien

Atenuasi	a (g)	a (m/s ²)
Joyner & Boore (1988)	0,3061 g	3,001
Fukushima & Tanaka (1990)	2,4142 g	23,675

Hasil dari perhitungan *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan persamaan atenuasi didapatkan nilai minimum sebesar 3,001 m/s² dan nilai maksimum sebesar 23,675 m/s² dengan nilai persen deterministic sesuai dengan aturan ASCE 7-10 (LPPM,2016)

Persen deterministic = 1,8 Nilai Maks PGA

$$= 1,8 \times 23,675\%$$

$$= 0,426$$

5.2.3 Penentuan PGA berdasarkan faktor amplifikasi

Setelah mengetahui nilai PGA dari analisis diatas, perlu dilakukan investigasi geoteknik untuk mencari faktor amplifikasi seperti potensi likuefaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan puncak gempa maksimum. Percepatan tanah puncak sesuai SNI 1726-2019 harus dipertimbangkan pengaruh amplifikasi secara spesifik dengan percepatan tanah puncak PGA_M yaitu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

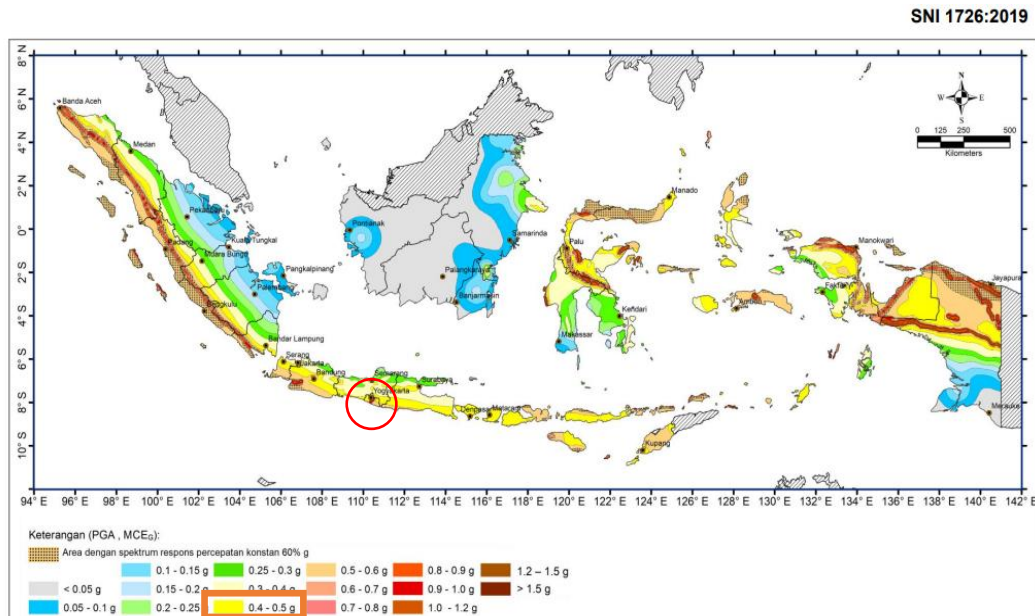
dimana :

PGA_M = Percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan yang ditunjukkan pada gambar 5.3

F_{PGA} = Koefisien situs

Berikut merupakan percepatan puncak terpetakan sesuai SNI 1726-2019.



Gambar 5.8 Percepatan Gempa Maksimum Gempa

(Sumber : SNI 1726-2019)

Koefisien situs juga telah ditentukan sesuai SNI 1726-2019 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.9 Koefisien Situs

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,4	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS ^(a)					

Nilai percepatan gempa maksimum yang disesuaikan dengan klasifikasi situs bisa dihitung melalui analisis berikut ini.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

$$PGA_M = 1,4 \cdot 0,4$$

$$PGA_M = 0,56$$

Jadi nilai percepatan gempa maksimum yang disesuaikan dengan klasifikasi situs yaitu 0,56.

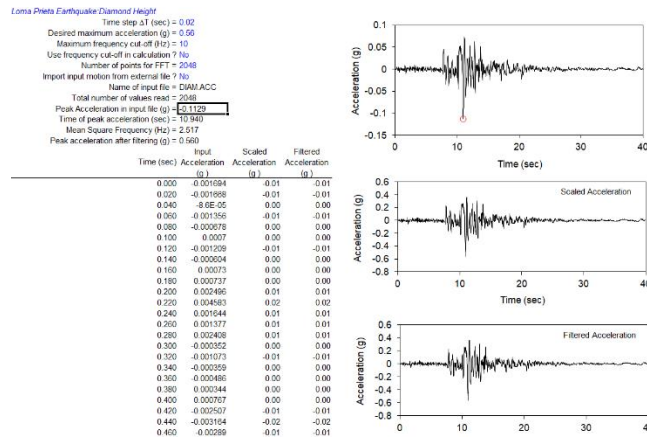
5.2.4 Analisis data gempa menggunakan EERA

Analisis ini dimulai dengan memasukan nama gempa yang di input ke dalam program. Setelah itu menginput data masukan gempa sebagai berikut:

1. Data gempa

- Waktu DT merupakan interval waktu antara titik data merata spasi dari periode waktu gerak masukan tanah,
- Frekuensi maksimum yang diinginkan untuk menggunakan skala amplitudo puncak input percepatan,
- Frekuensi *max cut-off* f digunakan untuk menyaring frekuensi tinggi dari akselerasi masukan,
- Frekuensi *cut-off* maksimum dapat diterapkan untuk mengeliminasi frekuensi tinggi dari catatan akselerasi input. Semua perhitungan akan difokuskan pada rentang frekuensi antara 0 dan f . Pengaturan ini bermanfaat untuk mengatasi potensi kesalahan perhitungan overflow yang sering terjadi akibat frekuensi yang sangat tinggi atau MAX. IV-76,
- Jumlah m titik data dalam perhitungan FFT dapat di tentukan. Biasanya, m dipilih agar lebih besar dari jumlah n titik data dalam riwayat waktu percepatan input. Dalam konteks ini, input data dapat dipadukan dengan menambahkan nol untuk mencapai panjang catatan n ,
- Data percepatan input dapat diekstraksi dari file eksternal. EERA juga memiliki kemampuan untuk membaca berbagai format data gempa bumi dari file data eksternal.

Berikut merupakan Worksheet data gempa EERA yang bisa dilihat pada Gambar 5.10.



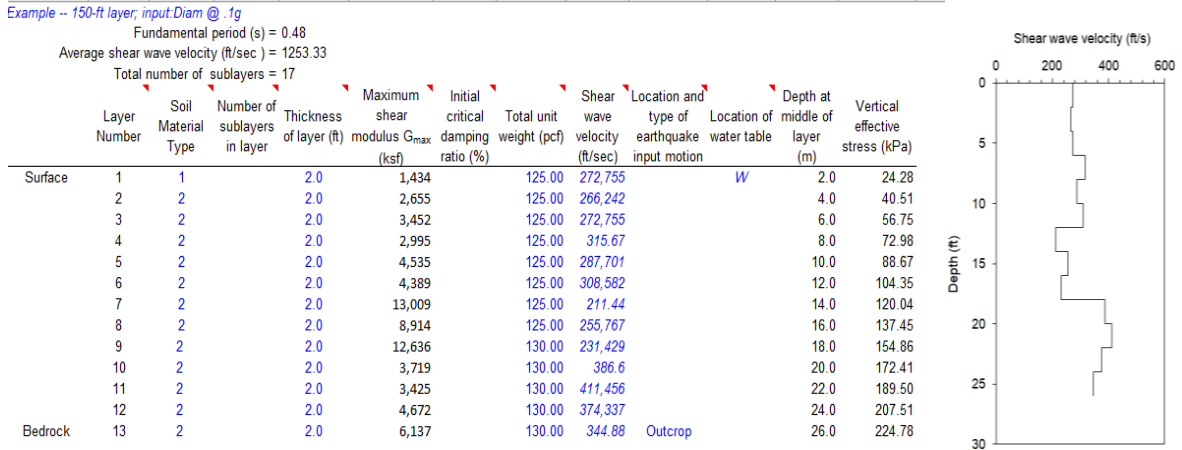
Gambar 5.10 Worksheet untuk data gempa aplikasi EERA

2. Data Profil Tanah

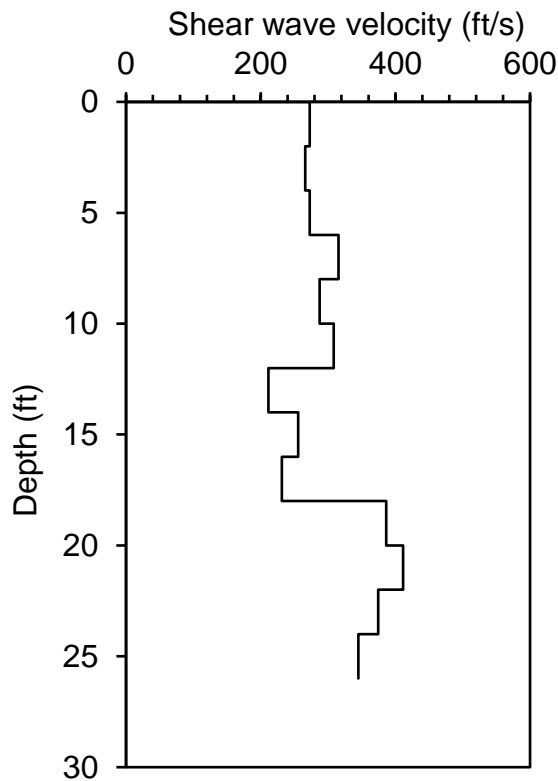
Untuk data profil tanah ini mendeskripsikan geometrik dan sifat tanah yang dimana nantinya akan di input kedalam data profil tanah. Data yang di input kedalam worksheet ini berupa:

- Jumlah jenis bahan yang ditentukan untuk setiap lapisan. Setiap jenis bahan ini didefinisikan dalam lembar kerja terpisah yang disebut Mat I
- Ketebalan lapisan tanah pada data Bor log SPT di tentukan.
- Kecepatan geser gelombang (V_s) juga di masukkan ke dalam unit fisik aplikasi EERA, dimana kecepatan geser gelombang adalah parameter penting untuk mengetahui perilaku dinamis tanah di bawah permukaan

Berikut merupakan Worksheet profil tanah Bm-01 yang bisa dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12.

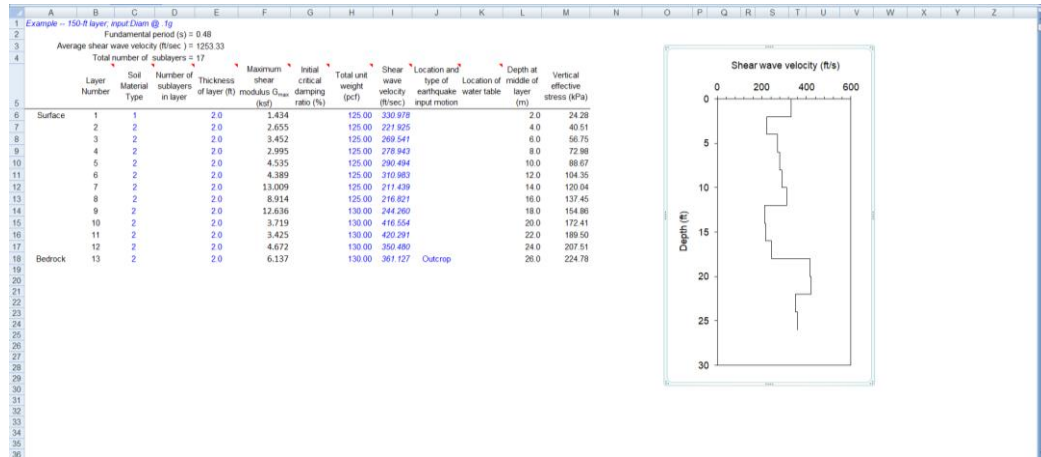


Gambar 5.11 Worksheet Profil Tanah Untuk Rumah Sakit UII BM-01

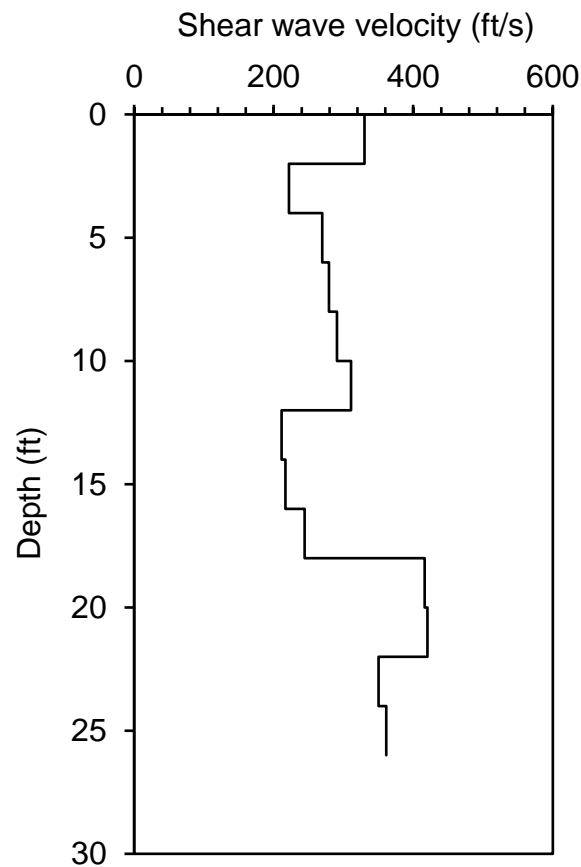


Gambar 5.12 Output Dari Profil Tanah Rumah Sakit UII BM-01

Berikut merupakan Worksheet profil tanah Bm-01 yang bisa dilihat pada Gambar 5.13 dan 5.14.



Gambar 5.13 Worksheet Profil Tanah Untuk Rumah Sakit UII BM-02

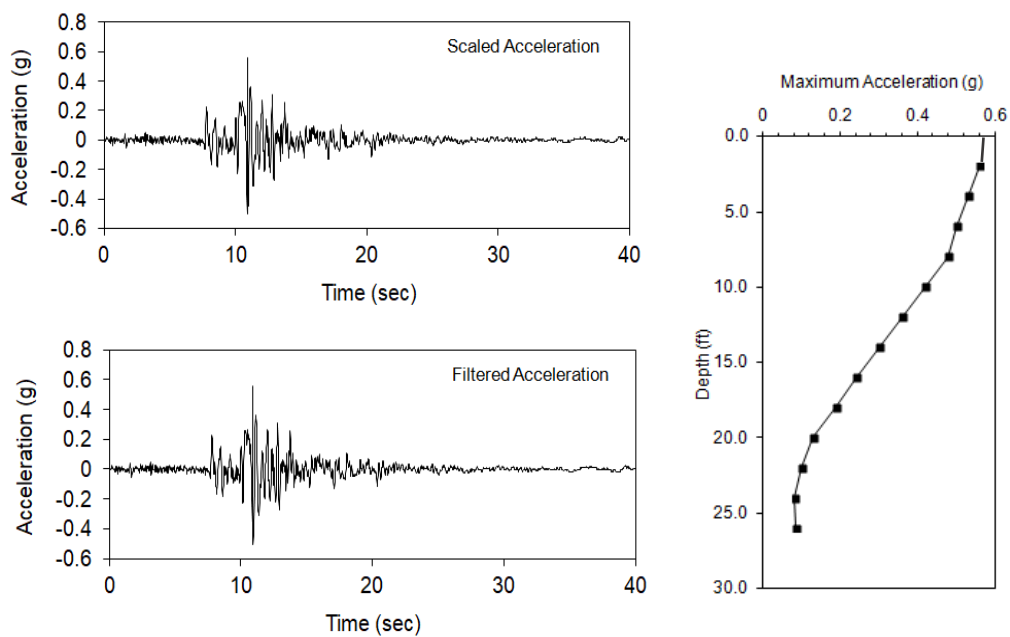


Gambar 5.14 Output Dari Profil Tanah Rumah Sakit UII BM-02

5.2.5 Output Percepatan

Percepatan yaitu parameter yang menyatakan perubahan kecepatan waktu mulai dari awal diam sampe bergerak pada kecepatan tertentu. Sedangkan Percepatan tanah maksimum adalah percepatan yang dihitung dari titik awal pengamatan/penelitian pada permukaan bumi dari riwayat gempa dan dengan perhitungan yang dipilih yaitu yang terbesar. Sebelum menentukan perencanaan bangunan tahan gempa, nilai percepatan tanah maksimum akan diperhitungkan terlebih dahulu dan nilai percepatan maksimum adalah salah satu dalam bagian perencanaan bangunan tahan gempa.

Berikut hasil dari kalkulasi percepatan bisa dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini.



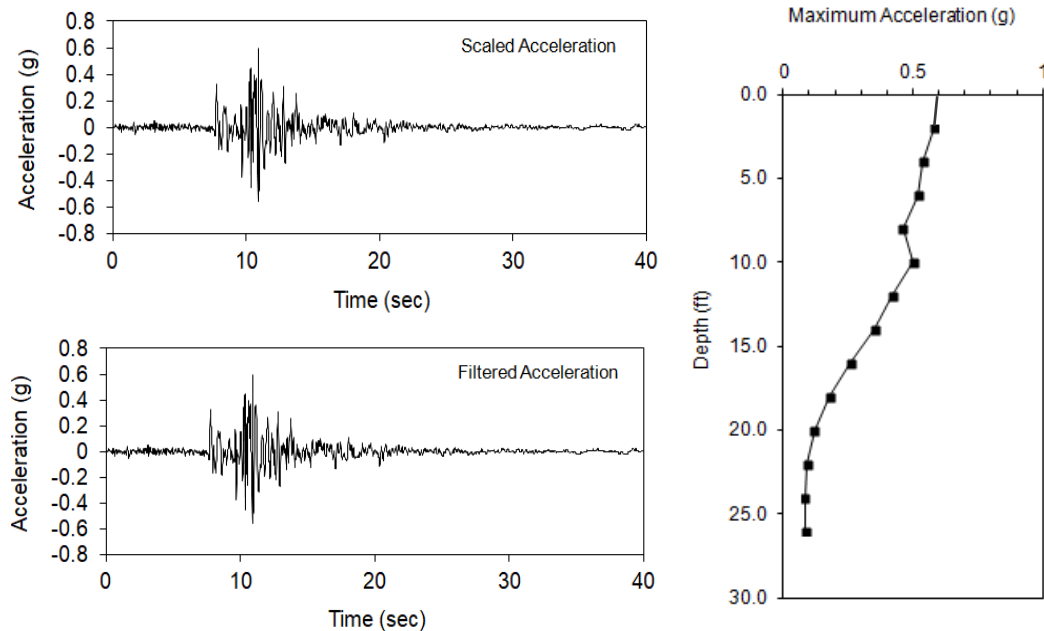
Gambar 5.15 Hasil Percepatan Tanah Rumah Sakit UII BM-01

Dari hasil yang bisa dilihat di gambar diatas diketahui nilai maksimum akselerasi atau a_{max} setiap lapisan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 5.9 Nilai Maksimum Akselerasi Setiap Lapisan BM-01

Kedalaman (m)	Lapisan Tanah	Maksimum akselerasi / a_{max} (g)
2	Lapisan 13	0,56
4	Lapisan 12	0,53
6	Lapisan 11	0,5
8	Lapisan 10	0,48
10	Lapisan 9	0,42
12	Lapisan 8	0,36
14	Lapisan 7	0,3
16	Lapisan 6	0,24
18	Lapisan 5	0,19
20	Lapisan 4	0,13
22	Lapisan 3	0,1
24	Lapisan 2	0,08
26	Lapisan 1	0,08

Berikut hasil dari kalkulasi percepatan bisa dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5.16 Hasil Percepatan Tanah Rumah Sakit UII BM-02

Berikut hasil dari nilai maksimum akselerasi atau a_{max} setiap lapisan di BM-02 bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.10 Nilai Maksimum Akselerasi Setiap Lapisan BM-02

Kedalaman (m)	Lapisan Tanah	Maksimum akselerasi / a_{max} (g)
2	Lapisan 13	0,58
4	Lapisan 12	0,54
6	Lapisan 11	0,52
8	Lapisan 10	0,46
10	Lapisan 9	0,5
12	Lapisan 8	0,42
14	Lapisan 7	0,35
16	Lapisan 6	0,26
18	Lapisan 5	0,18
20	Lapisan 4	0,12

Lanjutan Tabel 5.10 Nilai Maksimum Akselerasi Setiap Lapisan BM-02

22	Lapisan 3	0,09
24	Lapisan 2	0,08
26	Lapisan 1	0,08

Hasil menunjukkan bahwa, maksimum akselerasi pada dasar permukaan BM-01 yaitu sebesar 0,56g pada tingkat permukaan dan 0,58g pada tingkat permukaan BM-02.

5.2.6 Analisis Potensi Likuefaksi

Likuefaksi adalah suatu fenomena / proses tanah jenuh yang kehilangan kekuatannya dengan cepat karena getaran yang diakibatkan oleh gempa bumi yang menyebabkan meningkatnya tekanan air dan melemahkan daya ikat dalam lapisan tanah. Potensi likuefaksi ini bisa diketahui dengan menggunakan data laboratorium maupun data lapangan salahsatunya yaitu data SPT.

5.2.7 Analisis data SPT

Perhitungan analisis likuefaksi dengan data SPT diperlukan bantuan perangkat lunak yaitu *Microsoft Excel* yang nantinya akan dimasukkan ke dalam grafik dengan tujuan mempermudah analisis potensi likuefaksi pada tanah tersebut.

Kedalaman Lapisan : 26 meter


Muka air tanah : 0,82 meter

Percepatan gravitasi : 9,81 m/s²

Berat volume air (γ_w) : 9,81 kN/m³


Berikut merupakan lapisan tanah analisis likuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.10 dibawah ini.

Tabel 5.11 Lapisan Tanah BM-01

		MAT	
$\gamma_1 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	2 m		Lapisan 1
$\gamma_2 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	4 m		Lapisan 2
$\gamma_3 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	6 m		Lapisan 3
$\gamma_4 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	8 m		Lapisan 4
$\gamma_5 = 18.653 \text{ kN/m}^3$	10 m		Lapisan 5
$\gamma_6 = 18.653 \text{ kN/m}^3$	12 m		Lapisan 6
$\gamma_7 = 18.653 \text{ kN/m}^3$	14 m		Lapisan 7
$\gamma_8 = 19.516 \text{ kN/m}^3$	16 m		Lapisan 8
$\gamma_9 = 19.516 \text{ kN/m}^3$	18 m		Lapisan 9
$\gamma_{10} = 19.584 \text{ kN/m}^3$	20 m		Lapisan 10
$\gamma_{11} = 19.584 \text{ kN/m}^3$	22 m		Lapisan 11
$\gamma_{12} = 19.584 \text{ kN/m}^3$	24 m		Lapisan 12
$\gamma_{13} = 19.447 \text{ kN/m}^3$	26 m		Lapisan 13
//////////////////////////////////////			Tanah Keras

Berikut merupakan lapisan tabag analisis likuefaksi dapat dilihat pada Tabel 5.11 dibawah ini.

Tabel 5.12 Lapisan Tanah BM-02

		MAT	
$\gamma_1 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	2 m		Lapisan 1
$\gamma_2 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	4 m		Lapisan 2
$\gamma_3 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	6 m		Lapisan 3
$\gamma_4 = 18.927 \text{ kN/m}^3$	8 m		Lapisan 4
$\gamma_5 = 18.653 \text{ kN/m}^3$	10 m		Lapisan 5
$\gamma_6 = 18.653 \text{ kN/m}^3$	12 m		Lapisan 6
$\gamma_7 = 18.653 \text{ kN/m}^3$	14 m		Lapisan 7
$\gamma_8 = 19.516 \text{ kN/m}^3$	16 m		Lapisan 8
$\gamma_9 = 19.516 \text{ kN/m}^3$	18 m		Lapisan 9
$\gamma_{10} = 19.584 \text{ kN/m}^3$	20 m		Lapisan 10
$\gamma_{11} = 19.584 \text{ kN/m}^3$	22 m		Lapisan 11
$\gamma_{12} = 19.584 \text{ kN/m}^3$	24 m		Lapisan 12
$\gamma_{13} = 19.447 \text{ kN/m}^3$	26 m		Lapisan 13
////////////////////////////////////			Tanah Keras

Berikut merupakan perhitungan analisis likuefaksi dapat dilihat pada Tabel 6.0 dibawah ini.

1. Perhitungan tegangan efektif (σ')

a. Lapisan 1

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{\text{total}}) = h \times \gamma$$

$$= 2 \times 18,927$$

$$= 37,854 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekanan angka pori (u)} = h_w \times \gamma_w$$

$$= 1,18 \times 9,81$$

$$= 11,576 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'v) = \sigma - u$$

$$= 37,854 - 11,576$$

$$= 26,278 \text{ kN/m}^2$$

b. Lapisan 2

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{\text{total}}) = \sigma_1 + (h \times \gamma)$$

$$= 37,854 + (2 \times 18,927)$$

$$= 75,708 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekanan angka pori (u)} = h_w \times \gamma_w$$

$$= 3,18 \times 9,81$$

$$= 31,196 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'v) = \sigma - u$$

$$= 75,708 - 31,196$$

$$= 44,512 \text{ kN/m}^2$$

c. Lapisan 3

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{\text{total}}) = \sigma_2 + (h \times \gamma)$$

$$= 75,708 + (2 \times 18,927)$$

$$= 113,562 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekanan angka pori (u)} = h_w \times \gamma_w$$

$$= 5,18 \times 9,81$$

$$= 50,816 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'v) = \sigma - u$$

$$= 113,562 - 50,816$$

$$= 62,746 \text{ kN/m}^2$$

Berikut merupakan rekapitulasi dari hasil analisis tegangan efektif dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analisis tegangan Efektif Vertikal ($\sigma'v$)

Titik Bor	Kedalaman (H) (m)	Nilai N	γ (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	Tekanan Air Pori (u) (kN/m ²)	$\sigma'v$ (kN/m ²)
BM-01	2	27	18,927	37,854	11,576	26,279
	4	25	18,927	75,709	31,196	44,513
	6	27	18,927	113,563	50,816	62,747
	8	43	18,927	151,416	70,436	80,982
	10	32	18,653	188,722	90,056	98,667
	12	40	18,653	226,028	109,676	116,352
	14	12	18,653	263,333	129,296	134,037
	16	22	19,516	302,366	148,916	153,449
	18	16	19,516	341,398	168,536	172,860
	20	82	19,584	380,566	188,516	192,408
	22	100	19,584	419,733	207,776	211,957
	24	74	19,584	458,901	227,396	231,505
26	57	19,447	497,795	247,016	250,779	

Lanjutan Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analisis tegangan Efektif Vertikal (σ'_v)

Titik Bor	Kedalaman (H) (m)	Nilai N	γ (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	Tekanan Air Pori (u) (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)
BM-02	2	50	18,927	37,854	11,576	26,279
	4	14	18,927	75,709	31,196	44,513
	6	26	18,927	113,563	50,816	62,747
	8	29	18,927	151,416	70,436	80,982
	10	33	18,927	189,272	90,056	99,214
	12	41	18,927	227,126	109,676	117,448
	14	12	18,927	264,981	129,296	135,682
	16	13	18,927	302,835	148,916	153,916
	18	19	18,927	340,690	168,536	172,15
	20	104	18,927	378,544	188,516	190,384
	22	107	18,927	416,394	207,776	208,618
	24	60	18,927	454,248	227,396	226,852
	26	66	18,927	492,102	247,016	245,086

2. Perhitungan nilai tegangan reduksi (rd)

Nilai tegangan reduksi (rd) bisa dihitung melalui persamaan (Liao dan Whitemann, 1986) dan akan diperoleh nilai rata-rata koefisien tegangan reduksi (rd). Adapun persamaan dan syarat yang di berlakukan yaitu sebagai berikut:

$$R_d = 1,0 - 0,00765Z \text{ untuk } Z \leq 9,15 \text{ m}$$

$$R_d = 1,174 - 0,0267Z \text{ untuk } 9,15 \text{ m} < Z \leq 23 \text{ m}$$

$$R_d = 0,774 - 0,008z \text{ untuk } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m}$$

$$R_d = 0,5 \text{ untuk } z \geq 30 \text{ m}$$

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned} R_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 2 \\ &= 0,985 \end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned} R_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 4 \\ &= 0,969 \end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned} R_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 6 \\ &= 0,954 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Cyclic Stress Ratio (CSR)

Perhitungan nilai CSR dipakai rumus persamaan Youd & Idriss (2001) sebagai berikut ini.

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned} CSR &= 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times r_d \\ &= 0,65 \times 0,56 \times \frac{37,854}{26,279} \times 0,985 \\ &= 0,516 \end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times r_d$$

$$= 0,65 \times 0,53 \times \frac{75,709}{40,513} \times 0,969$$

$$= 0,568$$

c. Lapisan 3

$$\text{CSR} = 0,65 \times \frac{amax}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times rd$$

$$= 0,65 \times 0,5 \times \frac{113,709}{62,747} \times 0,954$$

$$= 0,561$$

4. Perhitungan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Untuk menghitung nilai CRR dengan metode Youd-Idriss (2001) digunakan rumus sebagai berikut.

$$(N1)_{60} = N_m \times CE \times CB \times CR \times CS$$

Keterangan:

- CE : Faktor Koreksi Rasio Energi,
 CB : Faktor Koreksi Diameter Lubang,
 CR : Faktor Koreksi Panjang Rod,
 CS : Faktor Koreksi Metode Sampling, dan
 Nm : Faktor Koreksi nilai SPT terstruktur.

1. Analisis nilai N_{60}

a. Lapisan 1

$$N_{60} = N_m \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b / 0,6$$

$$= 27 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05 / 0,6$$

$$= 21,263$$

b. Lapisan 2

$$N_{60} = N_m \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b / 0,6$$

$$= 25 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05 / 0,6$$

$$= 19,688$$

c. Lapisan 3

$$N_{60} = N_m \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b / 0,6$$

$$= 27 \times 0,6 \times 0,85 \times 1 \times 1,05 / 0,6$$

$$= 24,098$$

2. Menghitung nilai $N1_{60cs}$

a. Lapisan 1

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma^2 v}{Pa}}$$

$$= \frac{2,2}{1,2 + \frac{24,279}{100}}$$

$$= 1,525$$

$$N_{1(60)} = N_{60} \times C_N$$

$$= 21,263 \times 1,525$$

$$= 32,422$$

$$N_{1(60)cs} = \alpha + \beta (N_{1(60)})$$

$$= \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)\right) \right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times N_{1(60)}$$

$$= \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{22,615^2}\right)\right) \right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times 32,422$$

$$= 39,593$$

b. Lapisan 2

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma^2 v}{Pa}}$$

$$= \frac{2,2}{1,2 + \frac{40,513}{100}}$$

$$= 1,371$$

$$N_{1(60)} = N_{60} \times C_N$$

$$= 19,688 \times 1,371$$

$$= 26,984$$

$$N_{1(60)cs} = \alpha + \beta (N_{1(60)})$$

$$= \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)\right) \right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times N_{1(60)}$$

$$= \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{22,615^2}\right)\right) \right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times 26,984$$

$$= 33,625$$

c. Lapisan 3

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma^2 v}{Pa}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2,2}{1,2 + \frac{56,747}{100}} \\
&= 1,245 \\
N_{1(60)} &= N_{60} \times C_N \\
&= 24,098 \times 1,245 \\
&= 29,995 \\
N_{1(60)cs} &= \alpha + \beta (N_{1(60)}) \\
&= \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)\right) \right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times N_{1(60)} \\
&= \left(\exp\left(1,76 - \left(\frac{190}{22,615^2}\right)\right) \right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times 29,995 \\
&= 36,929
\end{aligned}$$

3. Mencari nilai *cyclic resistance ratio*

Untuk mencari nilai CRR dengan metode Youd- Idriss (2001) dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini.

1) Lapisan 1

$$\begin{aligned}
CRR_{7,5} &= \frac{1}{34 - N_{1(60)cs}} + \frac{N_{1(60)cs}}{135} + \frac{50}{[(10(N_{1(60)cs} + 45))^2]} + \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 39,593} + \frac{39,593}{135} + \frac{50}{[(10(39,593 + 45))^2]} + \frac{1}{200} \\
&= 0,110 \\
MSF &= \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \\
&= 1,562 \\
CRR &= CRR_{7,5} \times MSF \\
&= 0,110 \times 1,562 \\
&= 0,139
\end{aligned}$$

2) Lapisan 2

$$\begin{aligned}
CRR_{7,5} &= \frac{1}{34 - N_{1(60)cs}} + \frac{N_{1(60)cs}}{135} + \frac{50}{[(10(N_{1(60)cs} + 45))^2]} + \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 33,625} + \frac{33,625}{135} + \frac{50}{[(10(33,625 + 45))^2]} + \frac{1}{200} \\
&= 0,559 \\
MSF &= \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \\
&= 1,562
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CRR &= CRR_{7.5} \times MSF \\
 &= 0,559 \times 1,562 \\
 &= 0,874
 \end{aligned}$$

3) Lapisan 3

$$\begin{aligned}
 CRR_{7.5} &= \frac{1}{34 - N_{1(60)CS}} + \frac{N_{1(60)CS}}{135} + \frac{50}{[(10(N_{1(60)CS} + 45))^2]} + \frac{1}{200} \\
 &= \frac{1}{34 - 36,929} + \frac{36,929}{135} + \frac{50}{[(10(36,929 + 45))^2]} + \frac{1}{200} \\
 &= 0,494
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MSF &= \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \\
 &= 1,562
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CRR &= CRR_{7.5} \times MSF \\
 &= 0,494 \times 1,562 \\
 &= 0,772
 \end{aligned}$$

4. Analisis nilai faktor keamanan (FS)

Analisis faktor keamanan menggunakan metode Youd-Idriss (2001) bisa dilihat di analisis berikut ini.

a. Lapisan 1

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

$$FS = \frac{0,171}{0,529}$$

$$FS = 0,324 \text{ (berpotensi terjadi likuefaksi)}$$

b. Lapisan 2

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

$$FS = \frac{0,874}{0,591}$$

$$FS = 1,478 \text{ (tidak terjadi likuefaksi)}$$

c. Lapisan 3

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

$$FS = \frac{0,772}{0,588}$$

$$FS = 1,313 \text{ (tidak terjadi likuefaksi)}$$

Dalam perhitungan nilai CSR dan CRR diatas ditemukan analisis nilai FS (faktor keamanan) bahwa pda kedalaman 2 meter di titik BM-01 pada data tanah Proyek Pembangunan Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia nilai $FS < 1$ yang menandakan bahwa tanah di kedalaman 2 meter mengalami likufaksi, sedangkan pada tanah di kedalaman 4 meter memiliki nilai $FS > 1$ yang berarti tanah tersebut tidak mengalami likuefaksi. Rekapitulasi analisis perhitungan diatas bisa dilihat pada Tabel 5.11, Tabel 5.12, dan Tabel 5.13 dibawah ini.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai N60

Titik Bor	Kedalaman (H) (m)	nilai N	Ce	Cr	Cs	Cb	N ₆₀
BM-01	2	27	0.6	0.75	1	1.05	21.263
	4	25	0.6	0.75	1	1.05	19.688
	6	27	0.6	0.85	1	1.05	24.098
	8	43	0.6	0.95	1	1.05	42.893
	10	32	0.6	1	1	1.05	33.600
	12	40	0.6	1	1	1.05	42.000
	14	12	0.6	1	1	1.05	12.600
	16	22	0.6	1	1	1.05	23.100
	18	16	0.6	1	1	1.05	16.800
	20	82	0.6	1	1	1.05	86.100
	22	100	0.6	1	1	1.05	105.000
	24	74	0.6	1	1	1.05	77.700
	26	57	0.6	1	1	1.05	59.850
BM-02	2	50	0.6	0.75	1	1.05	39.375
	4	14	0.6	0.75	1	1.05	11.025
	6	26	0.6	0.85	1	1.05	23.205
	8	29	0.6	0.95	1	1.05	28.928
	10	33	0.6	1	1	1.05	34.650
	12	41	0.6	1	1	1.05	43.050
	14	12	0.6	1	1	1.05	12.600

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai N₆₀

Titik Bor	Kedalaman (H) (m)	nilai N	Ce	Cr	Cs	Cb	N ₆₀
BM-02	16	13	0.6	1	1	1.05	13.650
	18	19	0.6	1	1	1.05	19.950
	20	104	0.6	1	1	1.05	109.200
	22	107	0.6	1	1	1.05	112.350
	24	60	0.6	1	1	1.05	63.000
	26	66	0.6	1	1	1.05	69.300

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Analisis Potensi Likuefaksi Pada Titik BM-01 dengan Metode Youd- Idriss (2001)

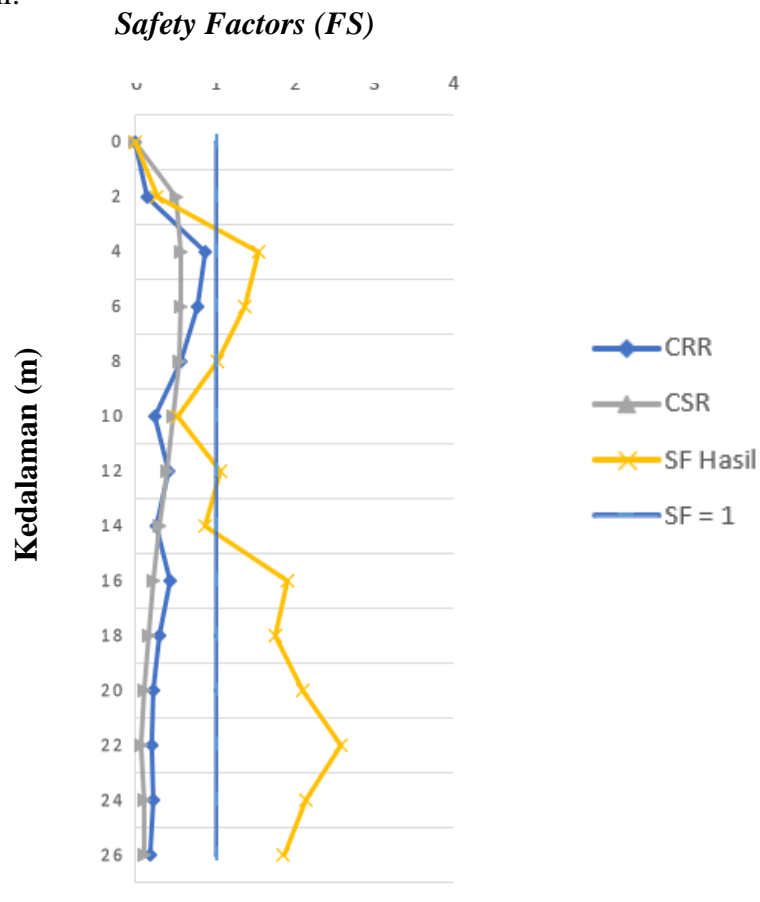
Kedalaman (H) (m)	CN	N1(60)	N1(60)CS	CRR	MSF	CSR	SF Hasil	SF = 1	Keterangan
2	1.504	31.978	39.107	0.14	1.56	0.516	0.27	1	Berpotensi Terjadi likuifaksi
4	1.337	26.328	31.008	0.87	1.56	0.568	1.54	1	Tidak terjadi likuifaksi
6	1.204	29.010	30.350	0.77	1.56	0.561	1.38	1	Tidak terjadi likuifaksi
8	1.095	46.952	55.540	0.56	1.56	0.548	1.03	1	Tidak terjadi likuifaksi
10	1.006	33.805	41.111	0.25	1.56	0.474	0.52	1	Berpotensi Terjadi likuifaksi
12	0.931	39.094	46.917	0.41	1.56	0.388	1.07	1	Tidak terjadi likuifaksi
14	0.866	10.912	15.985	0.27	1.56	0.307	0.87	1	Berpotensi Terjadi likuifaksi
16	0.805	18.585	24.406	0.44	1.56	0.230	1.91	1	Tidak terjadi likuifaksi
18	0.751	12.620	17.860	0.30	1.56	0.169	1.76	1	Tidak terjadi likuifaksi
20	0.704	60.632	70.555	0.22	1.56	0.107	2.09	1	Tidak terjadi likuifaksi
22	0.663	69.587	80.384	0.19	1.56	0.076	2.58	1	Tidak terjadi likuifaksi
24	0.626	48.631	57.383	0.22	1.56	0.101	2.14	1	Tidak terjadi likuifaksi
26	0.593	35.512	42.984	0.19	1.56	0.100	1.86	1	Tidak terjadi likuifaksi

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Analisis Potensi Likuefaksi Pada Titik BM-02 dengan Metode Youd- Idriss (2001)

Kedalaman (H) (m)	CN	N1(60)	N1(60)CS	CRR	MSF	CSR	SF Hasil	SF = 1	Keterangan
2	1.504	59.219	69.005	0.75	1.56	0.535	1.40	1	Tidak terjadi likuefaksi
4	1.337	14.744	20.191	0.34	1.56	0.579	0.59	1	Berpotensi Terjadi likuefaksi
6	1.204	27.935	31.447	0.97	1.56	0.584	1.66	1	Tidak terjadi likuefaksi
8	1.095	31.665	41.545	0.27	1.56	0.525	0.51	1	Berpotensi Terjadi likuefaksi
10	1.004	34.774	40.228	0.21	1.56	0.562	0.37	1	Berpotensi Terjadi likuefaksi
12	0.927	39.887	47.786	0.43	1.56	0.451	0.96	1	Berpotensi Terjadi likuefaksi
14	0.860	10.842	15.908	0.26	1.56	0.356	0.74	1	Berpotensi Terjadi likuefaksi
16	0.803	10.963	16.041	0.27	1.56	0.248	1.07	1	Kondisi Kritis
18	0.753	15.023	20.497	0.35	1.56	0.161	2.16	1	Tidak terjadi likuefaksi
20	0.709	77.401	88.960	0.22	1.56	0.099	2.24	1	Tidak terjadi likuefaksi
22	0.669	75.215	86.561	0.17	1.56	0.068	2.50	1	Tidak terjadi likuefaksi
24	0.634	39.959	47.866	0.21	1.56	0.102	2.02	1	Tidak terjadi likuefaksi
26	0.603	41.760	49.842	0.22	1.56	0.101	2.13	1	Tidak terjadi likuefaksi

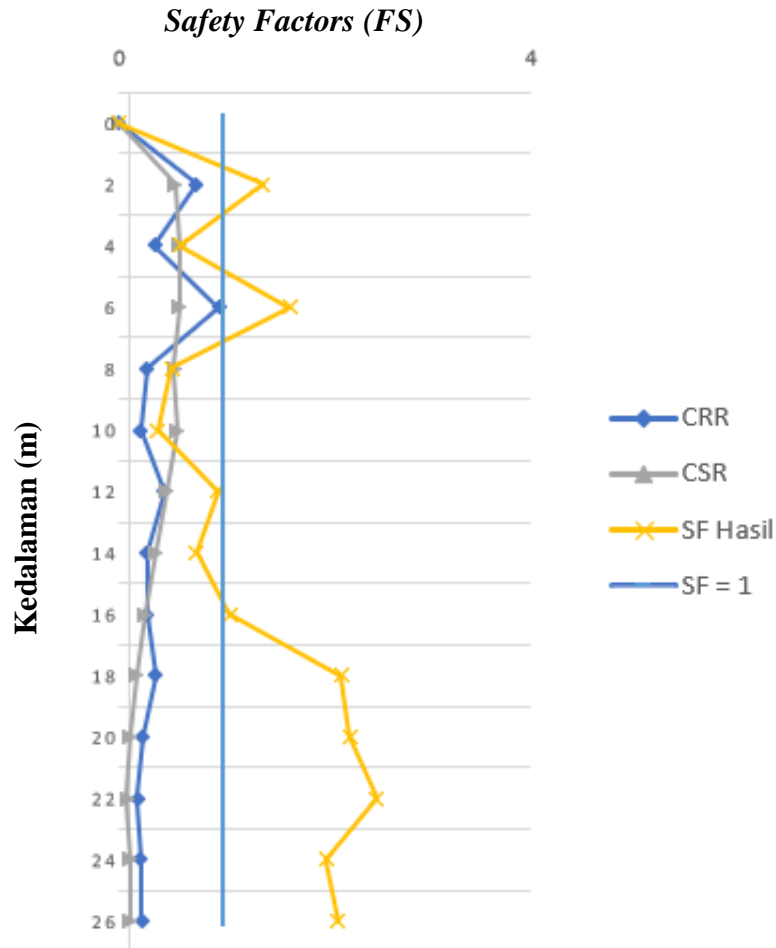
5.3 Pembahasan

Berdasarkan data N-SPT dan dilakukan analisis potensi likuefaksi dengan metode Youd-Idriss (2001) dengan a_{max} menggunakan metode DSHA dan nilai a_{max} dari SNI 1726-2019 yaitu 0,5 didapatkan hasil rekapitulasi perhitungan dalam grafik dibawah ini.



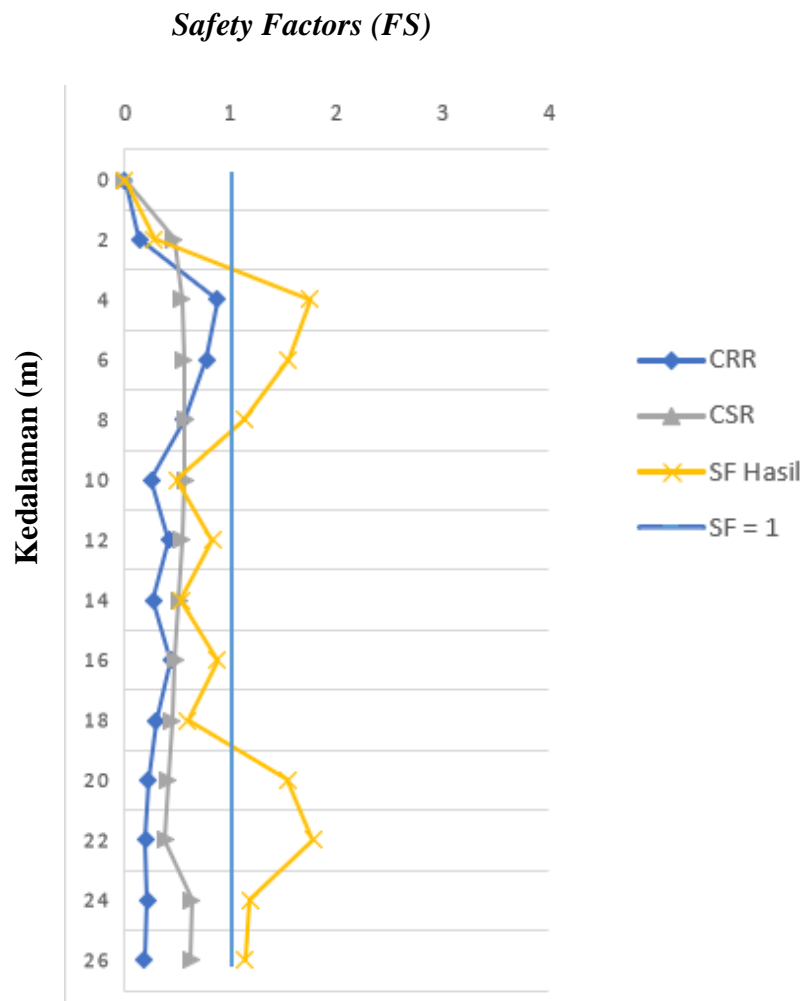
Gambar 5.18 Grafik Potensi Likuefaksi dengan Metode Youd & Idriss (2001) dengan metode DSHA BM-01

Dari perhitungan pada titik BM-01 diperoleh hasil grafik pada Gambar 5.18 diatas yang terdiri dari nilai CSR, CRR, FS dan Kedalaman. Adapun nilai *safety factor* yang dipakai yaitu sebesar 1 menjadi acuan batasan terjadinya likuefaksi atau tidak, bahwa jika nilai SF 1 tidak terjadi likuefaksi. Pada titik ini likuefaksi terjadi pada lapisan di kedalaman 2,10, dan 14 m, terjadinya likuefaksi dikarenakan nilai SF pada semua lapisan diperoleh hasil kurang dari nilai *safety factor* =1.



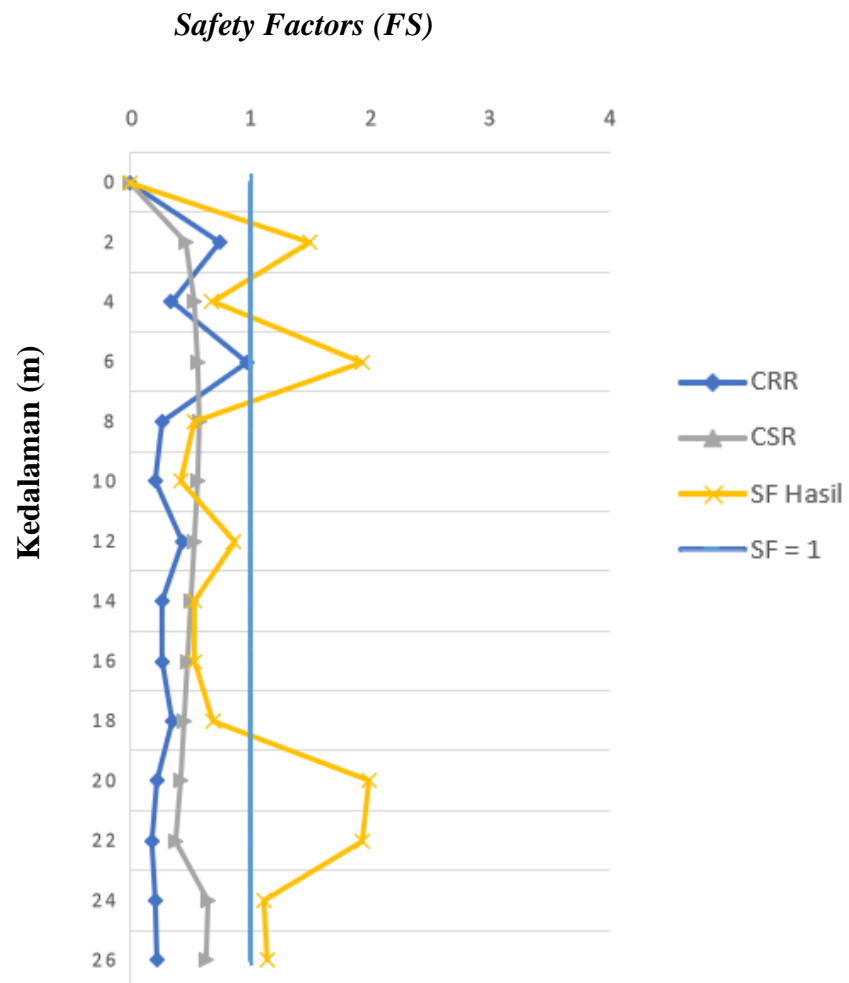
**Gambar 5.19 Grafik Potensi Likuefaksi
dengan Metode Youd & Idriss (2001)
dengan metode DSHA BM-02**

Dari perhitungan pada titik BM-02 diperoleh hasil grafik pada Gambar 5.19 diatas yang terdiri dari nilai CSR, CRR, FS dan Kedalaman. Adapun nilai *safety factor* yang dipakai yaitu sebesar 1 menjadi acuan batasan terjadinya likuefaksi atau tidak, bahwa jika nilai SF 1 tidak terjadi likuefaksi. Pada titik ini likuefaksi terjadi pada lapisan di kedalaman 4-12 m dan 14 m, terjadinya likuefaksi dikarenakan nilai SF pada semua lapisan diperoleh hasil kurang dari nilai *safety factor* =1.



**Gambar 5.20 Grafik Potensi Likuefaksi
dengan Metode Youd & Idriss (2001)
dengan CSR SNI 1726-2019 BM-01**

Dari perhitungan pada titik BM-02 diperoleh hasil grafik pada Gambar 5.20 diatas yang terdiri dari nilai CSR, CRR, FS dan Kedalaman. Adapun nilai *safety factor* yang dipakai yaitu sebesar 1 menjadi acuan batasan terjadinya likuefaksi atau tidak, bahwa jika nilai SF 1 tidak terjadi likuefaksi. Pada titik ini likuefaksi terjadi pada lapisan di kedalaman 2 m dan 10-18m, terjadinya likuefaksi dikarenakan nilai SF pada semua lapisan diperoleh hasil kurang dari nilai *safety factor* =1.



Gambar 5.21 Grafik Potensi Likuefaksi dengan Metode Youd & Idriss (2001) dengan CSR SNI 1726-2019 BM-02

Dari perhitungan pada titik BM-02 diperoleh hasil grafik pada Gambar 5.20 diatas yang terdiri dari nilai CSR, CRR, FS dan Kedalaman. Adapun nilai *safety factor* yang dipakai yaitu sebesar 1 menjadi acuan batasan terjadinya likuefaksi atau tidak, bahwa jika nilai SF 1 tidak terjadi likuefaksi. Pada titik ini likuefaksi terjadi pada lapisan di kedalaman 4 m dan 8-18 m, terjadinya likuefaksi dikarenakan nilai SF pada semua lapisan diperoleh hasil kurang dari nilai *safety factor* = 1.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil dari analisis potensi likuefaksi dengan metode (Youd-Idriss (2001)) di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan data N-SPT dan juga analisis nilai percepatan gempa bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil dari analisis percepatan gempa di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yaitu percepatan maksimum gempa (a_{max}) disetiap lapisan diperoleh sebesar 0,56g dipermukaan untuk BM-01 dan 0,58g dipermukaan untuk BM-02 yang menunjukkan analisis sesuai dengan SNI-1726-2019 dimana nilai a_{max} didaerah Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia antara 0,5-0,6 g.
2. Hasil dari analisis percepatan gempa di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yaitu percepatan maksimum gempa (a_{max}) berdasarkan SNI 1726-2019 sebesar 0,5g disetiap lapisan untuk BM-01 dan 0,5g disetiap lapisan untuk BM-02..
3. Hasil dari analisis potensi likuefaksi di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia dengan data N-SPT dan dengan *software EERA* bisa disimpulkan bahwa pengaruh a_{max} terhadap potensi likuefaksi dengan metode DSHA yaitu percepatan maksimum gempa bisa dilihat pada setiap lapisan tanah dan percepatan puncak berada pada 0,56g untuk BM-01 dan 0,58g untuk BM-02. Potensi likuifaksi pada BM-01 terjadi pada kedalaman 2,10, dan 14 m. Potensi likuifaksi pada BM-02 terjadi pada kedalaman 4-12 m dan 14 m.
4. Hasil dari analisis potensi likuefaksi di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia dengan data N-SPT dan sesuai dengan SNI 1726-2019 bisa disimpulkan bahwa pengaruh a_{max} terhadap potensi likuefaksi sesuai dengan SNI 1726-2019 yaitu percepatan maksimum gempa bisa dilihat pada setiap lapisan tanah dan percepatan puncak sama yaitu berada pada 0,5g untuk BM-01 dan 0,5g untuk BM-02. Potensi likuifaksi pada BM-01 terjadi pada kedalaman 2 m dan 10-18m. Potensi likuifaksi pada BM-02 terjadi pada kedalaman 4 m dan 8-18 m.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pada bab sebelumnya penulis memberi beberapa saran sebagai berikut.

1. Analisis Percepatan Maksimum Gempa (*a max*) dengan menggunakan *software* EERA dirasa *software* terlalu lama dan hanya bisa berjalan di Excel 2007 maka dari itu penulis menyarankan untuk menggunakan *Software* lain seperti *DeepSoil*.
2. Untuk mendapatkan hasil potensi likuefaksi yang lebih akurat dan lebih rinci dapat dilakukan dengan analisis dengan metode lain seperti menggunakan data CPT, gradasi butiran maupun *Shear Wave Velocity*. Perbandingan analisis likuefaksi dengan metode juga dapat dilakukan seperti Seed *et. al* (1976) dan Valera-Donovan (1977).

DAFTAR PUSTAKA

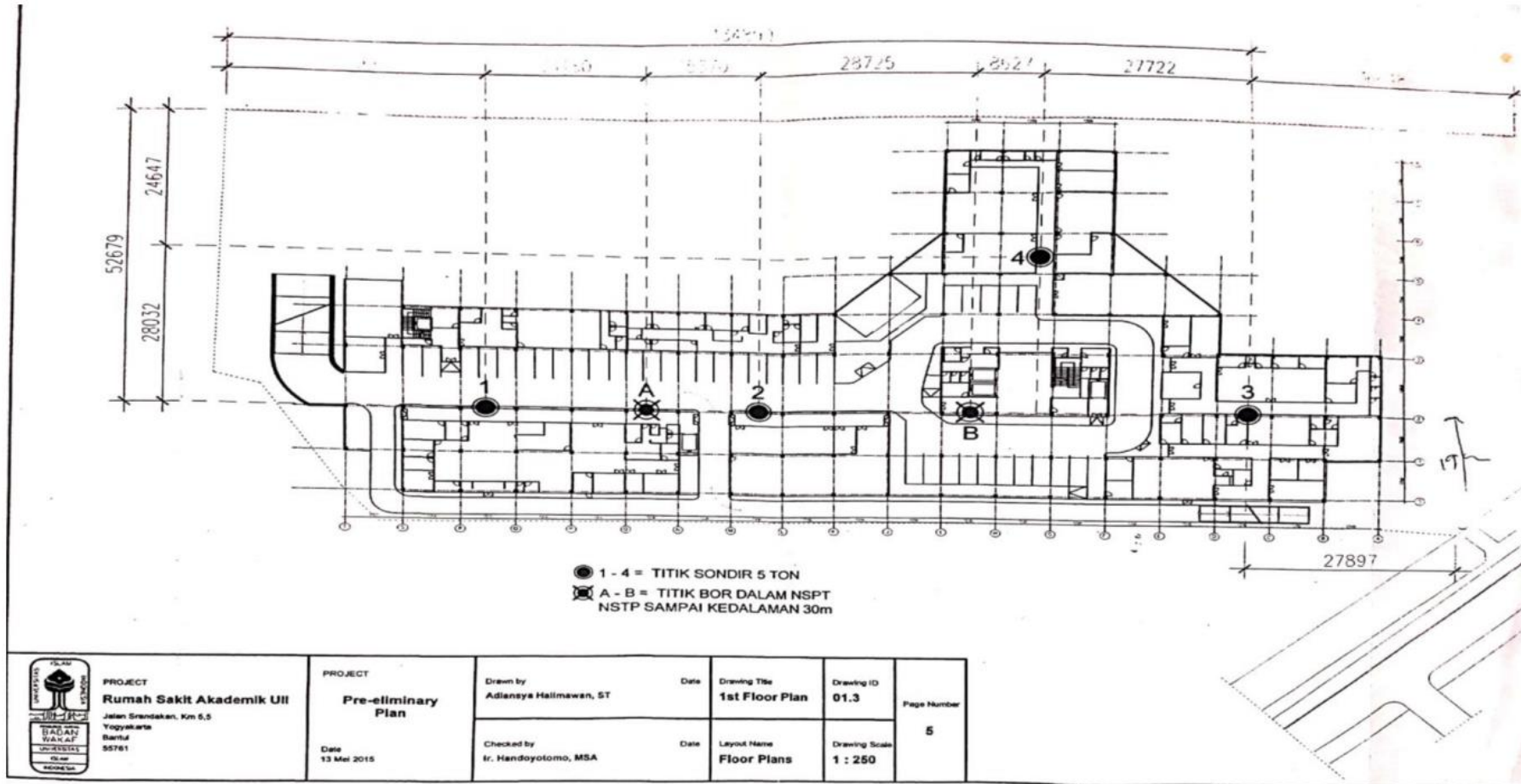
- Ariwibowo. 2014. *Pengembangan Peta Percepatan Tanah di Permukaan Berdasarkan Data Geologi untuk Daerah Istimewa Yogyakarta. Tesis, Universitas Islam Indonesia*
- Asrurifak.M., Irsyam, M., Budiono, B., Triyoyo, W., Meratia, W., Sengara, I.W., *Peta Spektra Hazard Indonesia Dengan Menggunakan Model Gridded Seismicity Untuk Sumber Gempa Background, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2009*
- Asrurifak. 2010. *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilistik. Disertasi. Institut Teknologi Bandung.*
- Boore D. M. dan Atkinson G.M., 2007. *NGA (Next Generation Attenuation), Ground Motion Relations for Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters, PEER Report, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering University of California, Barkeley, California, USA,*
- Van Bemmelen, R.W. (1949) *The Geology of Indonesia, vol. I.A. General Geology. Martinus Nyhoff, The Hague*
- Calvi, G.M., Pinho, R., Magenes,G.,Bommer, J.J., Restrepo-Vélez, L.F., dan Crowley,H.2006. *Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies Over the Past 30 Years. ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 472.3,pp.75-104.*
- Fukushima, Y., and T. Tanaka. 1990. *A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seismol. Soc. Am. 80, 757–783.*


- USGS. 2022. *Search Earthquake Catalog*.
- BSN. 2019. SNI 1726: 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta
- Hasbi, Y., 2021. Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Amanda, K., 2022. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Rumah Sakit UII dengan metode Youd-Idriss (2001), Seed et.al dan Valera-Donovan (1977) Berdasarkan Data N-SPT. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Syabhana, 2020. *Application of Modified PSHA USGS Software in Java Island Bed Rock Peak Ground Acceleration and Hazard Curve with 2475 Years Return Period*.
- Clayton, C.R.I. 1990. SPT Energy Transmission: Theory, *Measurement and Significance*. *Ground Engineering*, 23 (10), 35-43.
- Skempton, A.K. 1986. Standard Penetration Test Procedures and The Effect in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation. *Geotechnique*, 36(3), 425-447. London.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., 2001, Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 127(4): 297-313.
- Mario HUTAGALUNG, Simon Dertha TARIGAN 2019, Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus: Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2), Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Santo Thom

- Irsyam, M., Sengara I.W., Adiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., 2010, Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, Bandung, 1 Juli 2010.
- Muntafi, Y., Analisis Risiko dan Mikrozonasi Hazard Gempa Jakarta Metode Probabilitas Dengan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi, Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2012.
- Srikit. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Dan Data N-SPT (Studi Kasus Pembangunan New Yogyakarta International Airport (NYIA) di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kulon Progo). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mina, Enden. 2018. Analisa potensi likuifaksi berdasarkan data spt (studi kasus proyek pembangunan gedung baru untirta sindang sari) Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- Tauhik, 2017. Analisis Respon Tanah Terhadap Gempa Pada Wilayah Kota Makassar Menggunakan Aplikasi EERA Dengan Sumber Gempa Patahan Walnae.
- Kumala, S. A, 2018. Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Berdasarkan Data Gempa Untuk Wilayah Jakarta Timur Menggunakan Software PSHA.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Survei Geoteknik



 <p>PROJECT Rumah Sakit Akademik UII Jalan Srandakan, Km 5,5 Yogyakarta Bantul 55761</p>	<p>PROJECT Pre-eliminary Plan</p> <p>Date 13 Mei 2015</p>	<p>Drawn by Adiansya Hallimawan, ST</p>	Date	<p>Drawing Title 1st Floor Plan</p>	<p>Drawing ID 01.3</p>	<p>Page Number 5</p>
		<p>Checked by fr. Handoyotomo, MSA</p>	Date	<p>Layout Name Floor Plans</p>	<p>Drawing Scale 1 : 250</p>	

Gambar L-1. 1 Lokasi Titik BM-01 dan BM-02 RS UII

Tabel L-2. 3 N-SPT BM-01

Kedalaman (m)	Nilai N	penetrasi cm	N spt Pukulan/30cm	γ gr/cm ³	γ_v kg/cm ²	CN	Em	Cr	Cs	Cb	N'
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	27	30	27	1.828	0.366	1.34	0.60	0.75	1.00	1.05	17.1
4	25	30	25	1.828	0.731	1.11	0.60	0.75	1.00	1.05	13.1
6	27	30	27	1.828	1.097	0.97	0.60	0.85	1.00	1.05	14.0
8	43	30	43	1.828	1.462	0.87	0.60	0.95	1.00	1.05	22.5
10	32	30	32	1.800	1.822	0.80	0.60	1.00	1.00	1.05	16.2
12	40	30	40	1.800	2.182	0.74	0.60	1.00	1.00	1.05	18.7
14	12	30	12	1.800	2.542	0.69	0.60	1.00	1.00	1.05	5.2
16	22	30	22	1.888	2.920	0.64	0.60	1.00	1.00	1.05	8.9
18	16	30	16	1.888	3.298	0.60	0.60	1.00	1.00	1.05	6.1
20	82	30	82	1.895	3.677	0.57	0.60	1.00	1.00	1.05	29.3
22	100	27	111	1.895	4.056	0.53	0.60	1.00	1.00	1.05	37.4
24	74	30	74	1.895	4.435	0.50	0.60	1.00	1.00	1.05	23.5
26	57	30	57	1.881	4.811	0.48	0.60	1.00	1.00	1.05	17.1

*FC = 22,615

Tabel L-2. 4 N-SPT BM-02

Kedalaman (m)	Nilai N	pene-trasi	N spt	γ	γ_v	CN	Em	Cr	Cs	Cb	N'
(m)		cm	Pukulan/30cm	gr/cm ³	kg/cm ²						
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	50	30	50	1.828	0.366	1.34	0.60	0.75	1.00	1.05	31.6
4	14	30	14	1.828	0.731	1.11	0.60	0.75	1.00	1.05	7.3
6	26	30	26	1.828	1.097	0.97	0.60	0.85	1.00	1.05	13.5
8	29	30	29	1.828	1.462	0.87	0.60	0.95	1.00	1.05	15.2
10	33	30	33	1.800	1.822	0.80	0.60	1.00	1.00	1.05	16.7
12	41	30	41	1.800	2.182	0.74	0.60	1.00	1.00	1.05	19.1
14	12	30	12	1.800	2.542	0.69	0.60	1.00	1.00	1.05	5.2
16	13	30	13	1.888	2.920	0.64	0.60	1.00	1.00	1.05	5.3
18	19	30	19	1.888	3.298	0.60	0.60	1.00	1.00	1.05	7.2
20	104	24	130	1.895	3.677	0.57	0.60	1.00	1.00	1.05	46.4
22	107	26	123	1.895	4.056	0.53	0.60	1.00	1.00	1.05	41.5
24	60	23	78	1.895	4.435	0.50	0.60	1.00	1.00	1.05	24.8
26	66	30	66	1.881	4.811	0.48	0.60	1.00	1.00	1.05	19.8

*FC = 22,615