

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA PESISIR KOTA  
MAMUJU MENGGUNAKAN METODE NCEER (NATIONAL  
CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH)**

***ANALYSIS OF LIQUEFACTION POTENTIAL IN COASTAL  
AREA OF MAMUJU CITY USING THE NCEER (NATIONAL  
CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH)  
METHOD***

**ANDI ASTI NUR AMALIYAH  
D011 18 1331**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA PESISIR KOTA MAMUJU  
MENGUNAKAN METODE NCEEER (NATIONAL CENTER FOR EARTHQUAKE  
ENGINEERING RESEARCH)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ANDI ASTI NUR AMALIYAH**

**D011 18 1331**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



**Prof. Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, MT**  
NIP: 195910101987031003



**Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M.Eng.Sc**  
NIP: 197607072005011002

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

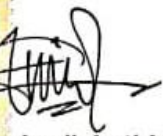
Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Andi Asti Nur Amaliyah, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Potensi Likuifaksi pada Pesisir Kota Mamuju Menggunakan Metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*)**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 10 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



  
Andi Asti Nur Amaliyah  
NIM: D011 18 1331

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wata'ala* karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Potensi Likuifaksi pada Pesisir Kota Mamuju Menggunakan Metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*)**. Tak lupa pula kami kirimkan shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad *Shalallahu Alaihi Wasallam* sebagai panutan terbaik sepanjang zaman serta para sahabat dan keluarga beliau dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalan Islam ini.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi strata satu di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan skripsi ini, tidak dapat dipungkiri ada banyak kesulitan yang dihadapi oleh penulis. Namun berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis mampu menghadapi kesulitan tersebut.

Selanjutnya, dalam penyusunan skripsi ini, penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu baik secara materil ataupun moril, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Ayahanda Andi Anas dan Ibunda Fatmayanti serta saudara-saudari saya Andi Awal Nur, Andi Ayu Nurnawati dan Andi Arsih Nurhandayani atas kasih sayang dan dukungan yang tak terbendung kepada saya.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M. Eng. Selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T. selaku pembimbing 1 dan Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc., selaku pembimbing 2, yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan, saran dan juga nasehat sejak awal penelitian hingga penyelesaian tugas akhir ini.
5. Dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan segala ilmu pengetahuan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses perkuliahan.
6. Saudara-saudariku TRANSISI 2019, yang selalu berbagi cerita, menghadirkan canda tawanya, senantiasa memberikan semangat, dan kebersamaan selama menempuh perkuliahan.
7. Novi Azizah dan Sopian Paerong Tangkelayuk, rekan tim Geoteknik Gempa 2018 atas kerja sama yang sangat baik dan telah banyak

memberikan dukungan serta menjadi sarana diskusi yang luar biasa.

8. Eka Purnama Lestari, Feby Alistia Mardi, dan Sukmawati, yang telah setia menemani di setiap kondisi selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman SEMUT 18, yang telah memberikan banyak warna dan cerita selama masa perkuliahan.
10. Teman-teman KKD Geoteknik, yang telah memberikan semangat serta saran dan masukan.
11. Serta semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Gowa, 10 Agustus 2022

Andi Asti Nur Amaliyah

## ABSTRAK

Gempa bumi terjadi akibat adanya getaran di permukaan bumi yang disebabkan oleh pergerakan kerak atau lempeng bumi. Kota Mamuju adalah Kota yang dikelilingi oleh beberapa sesar aktif seperti Sesar Makassar Thrust, Sesar Palu-Koro, Sesar Poso, Sesar Matano, Sesar Lawanopo dan Sesar Walanae, sehingga wilayah ini termasuk wilayah yang rawan gempa. Likuifaksi adalah proses perubahan sifat tanah yang awalnya padat menjadi cair karena beban siklik (berulang teratur) yang disebabkan oleh gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geoteknik daerah pesisir Kota Mamuju dan mengetahui potensi likuifaksi pada pesisir Kota Mamuju dengan menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan data kegempaan. Dalam analisis potensi likuifaksi ini, digunakan data PGA gempa dengan periode ulang 200 tahun, 500 tahun, 2500 tahun, 5000 tahun dan 10000 tahun.

Penelitian ini menggunakan metode oleh NCEER untuk mengevaluasi potensi likuifaksi dengan mendapatkan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan CRR dan CSR. Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengujian lapangan *Standard Penetration Test* (SPT) pada Perencanaan Jalan Sumare – Sinyoyoi Kab. Mamuju yang diuji pada tahun 2012. Data kegempaan di sekitar Kota Mamuju dirujuk dari penelitian Studi Kegempaan Kota Mamuju dengan Metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) pada tahun 2021.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daerah pesisir Kota Mamuju berpotensi terjadi likuifaksi karena dekat dengan sumber gempa. Semakin besar kekuatan gempa dan periode ulang gempa, maka semakin besar pula potensi likuifaksi.

**Kata Kunci:** Gempa bumi, Likuifaksi, SPT, CSR, CRR, Faktor Keamanan

## **ABSTRACT**

Earthquakes occur when there are vibrations on the earth's surface caused by the movement of the earth's crust or plates. Mamuju City is a city surrounded by several active faults such as the Makassar Thrust Fault, Palu- Koro Fault, Poso Fault, Matano Fault, Lawanopo Fault and Walanae Fault, so this area is earthquake-prone. Liquefaction is a process of changing soil properties from a solid state to a liquid state, this occurs by a cyclic load (repeated regularly) caused by an earthquake so that the pore water pressure will increase to close to or exceed vertical stress.

The purposes of this study are to determine the geotechnical conditions of the coastal areas of Mamuju City and to find out the potential for liquefaction on the coast of Mamuju City using the Standard Penetration Test (SPT) data and seismicity data. In this analysis, PGA earthquake data with return period of 200 years, 500 years, 2500 years, 5000 years and 10000 years were used.

This study uses the method by NCEER to evaluate the potential for liquefaction by obtaining the safety factor value from the comparison results of CRR and CSR. The soil data used in this study are the results of the Standard Penetration Test (SPT) on the Sumare – Sinyoyoi Road Planning, Mamuju Regency, which was tested in 2012. Seismicity data around Mamuju City is referred to from the Mamuju City Seismicity Study research using the PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) Method in 2021.

The results of this study showed that the coastal area of Mamuju City has the potential for liquefaction because it is close to the source of the earthquake. The greater the strength of the earthquake and the earthquake return period, the greater the potential for liquefaction.

**Keywords:** Earthquakes, Liquefaction, SPT, CSR, CRR, Safety Factor



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Definisi Gempa Bumi.....	5
2.2 Kondisi Geologi dan Geoteknik Kota Mamuju .....	6
2.3 Likuifaksi.....	8
2.4 Perhitungan CSR dan CRR.....	14
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	19
3.2 Peralatan Penelitian .....	19
3.3 Pengumpulan Data.....	19
3.4 Prosedur Penelitian .....	22
3.5 Bagan Alir Penelitian .....	26
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>27</b>
4.1 Deskripsi Daerah Penelitian .....	27
4.2 Hasil Analisis Data SPT dan Klasifikasi Tanah.....	28
4.3 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi Kota Mamuju .....	31

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	105
5.1 Kesimpulan.....	105
5.2 Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA.....	106
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Indonesia terletak pada zona interaksi 3 lempeng bumi aktif (Sukamto, 2000). .....	7
<b>Gambar 2.</b> Peta sumber gempa di Pulau Sulawesi (Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017) .....	7
<b>Gambar 3.</b> Lokasi daerah penelitian terletak di Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat .....	19
<b>Gambar 4.</b> Titik Pengambilan Data SPT .....	20
<b>Gambar 5.</b> Boring Log and SPT Test Result DH-01 .....	21
<b>Gambar 6.</b> Bagan Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 7.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-01 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	79
<b>Gambar 8.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-02 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	80
<b>Gambar 9.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-03 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	80
<b>Gambar 10.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-04 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	81
<b>Gambar 11.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-05 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	81
<b>Gambar 12.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-06 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	82
<b>Gambar 13.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-07 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	82
<b>Gambar 14.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-08 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	83
<b>Gambar 15.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-09 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	83
<b>Gambar 16.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-10 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	84

<b>Gambar 17.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-01 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	84
<b>Gambar 18.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-02 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	85
<b>Gambar 19.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-03 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	85
<b>Gambar 20.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-04 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	86
<b>Gambar 21.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-05 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	86
<b>Gambar 22.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-06 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	87
<b>Gambar 23.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-07 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	87
<b>Gambar 24.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-08 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	88
<b>Gambar 25.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-09 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	88
<b>Gambar 26.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-10 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	89
<b>Gambar 27.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-01 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	89
<b>Gambar 28.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-02 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	90
<b>Gambar 29.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-03 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	90
<b>Gambar 30.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-04 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	91
<b>Gambar 31.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-05 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	91

<b>Gambar 32.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-06 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	92
<b>Gambar 33.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-07 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	92
<b>Gambar 34.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-08 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	93
<b>Gambar 35.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-09 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	93
<b>Gambar 36.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-10 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	94
<b>Gambar 37.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-01 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	94
<b>Gambar 38.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-02 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	95
<b>Gambar 39.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-03 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	95
<b>Gambar 40.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-04 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	96
<b>Gambar 41.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-05 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	96
<b>Gambar 42.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-06 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	97
<b>Gambar 43.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-07 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	97
<b>Gambar 44.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-08 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	98
<b>Gambar 45.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-09 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	98
<b>Gambar 46.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-10 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	99

<b>Gambar 47.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-01 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	99
<b>Gambar 48.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-02 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	100
<b>Gambar 49.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-03 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	100
<b>Gambar 50.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-04 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	101
<b>Gambar 51.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-05 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	101
<b>Gambar 52.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-06 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	102
<b>Gambar 53.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-07 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	102
<b>Gambar 54.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-08 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	103
<b>Gambar 55.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-09 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	103
<b>Gambar 56.</b> Hubungan Kedalaman dengan Faktor Keamanan DH-10 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	104

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Perbandingan PGA antara hasil PSHAtools dengan SNI 1726:2019 .....	22
<b>Tabel 2.</b> Titik koordinat lokasi pengujian SPT.....	27
<b>Tabel 3.</b> Site Klasifikasi berdasarkan Peraturan Gempa Indonesia (SNI 1726-2019) .....	28
<b>Tabel 4.</b> Rekapitulasi nilai N-SPT dan Klasifikasi Situs berdasarkan hasil uji SPT pada beberapa titik di Kota Mamuju .....	29
<b>Tabel 5.</b> Faktor Amplifikasi (SNI 1726-2019).....	29
<b>Tabel 6.</b> Nilai PSA untuk Tanah Kelas Situs SE (DH-01 – DH-07) .....	30
<b>Tabel 7.</b> Nilai PSA untuk Tanah Kelas Situs SD (DH-08 – DH-10).....	30
<b>Tabel 8.</b> Data tanah pengujian SPT DH-01 .....	31
<b>Tabel 9.</b> Data tanah pengujian SPT DH-02 .....	32
<b>Tabel 10.</b> Data tanah pengujian SPT DH-03 .....	32
<b>Tabel 11.</b> Data tanah pengujian SPT DH-04 .....	33
<b>Tabel 12.</b> Data tanah pengujian SPT DH-05 .....	33
<b>Tabel 13.</b> Data tanah pengujian SPT DH-06 .....	34
<b>Tabel 14.</b> Data tanah pengujian SPT DH-07 .....	34
<b>Tabel 15.</b> Data tanah pengujian SPT DH-08 .....	35
<b>Tabel 16.</b> Data tanah pengujian SPT DH-09 .....	35
<b>Tabel 17.</b> Data tanah pengujian SPT DH-10 .....	36
<b>Tabel 18.</b> Hubungan antara Kepadatan, <i>Relative Density</i> , dan Nilai N-SPT pada Tanah Pasir.....	36
<b>Tabel 19.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-01 .....	37
<b>Tabel 20.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-02.....	37
<b>Tabel 21.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-03.....	38
<b>Tabel 22.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-04.....	38
<b>Tabel 23.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-05.....	39
<b>Tabel 24.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-06.....	39
<b>Tabel 25.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-07 .....	40

<b>Tabel 26.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-08.....	40
<b>Tabel 27.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-09.....	41
<b>Tabel 28.</b> Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah DH-10.....	42
<b>Tabel 29.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-01 sampai DH-05 untuk Periode 200 Tahun.....	42
<b>Tabel 30.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-06 sampai DH-10 untuk Periode 200 Tahun.....	43
<b>Tabel 31.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-01 sampai DH-05 untuk Periode 500 Tahun.....	43
<b>Tabel 32.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-06 sampai DH-10 untuk Periode 500 Tahun.....	44
<b>Tabel 33.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-01 sampai DH-05 untuk Periode 2500 Tahun.....	44
<b>Tabel 34.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-06 sampai DH-10 untuk Periode 2500 Tahun.....	45
<b>Tabel 35.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-01 sampai DH-05 untuk Periode 5000 Tahun.....	45
<b>Tabel 36.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-06 sampai DH-10 untuk Periode 5000 Tahun.....	46
<b>Tabel 37.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-01 sampai DH-05 untuk Periode 10000 Tahun.....	46
<b>Tabel 38.</b> Perhitungan Nilai CSR DH-06 sampai DH-10 untuk Periode 10000 Tahun.....	47
<b>Tabel 39.</b> Hasil Perhitungan MSF dengan Variasi Gempa .....	48
<b>Tabel 40.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-01 .....	48
<b>Tabel 41.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-02 .....	49
<b>Tabel 42.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-03 .....	49
<b>Tabel 43.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-04 .....	50
<b>Tabel 44.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-05 .....	50
<b>Tabel 45.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-06 .....	51
<b>Tabel 46.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-07 .....	51



<b>Tabel 47.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-08 .....	52
<b>Tabel 48.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-09 .....	52
<b>Tabel 49.</b> Perhitungan Nilai CRR pada titik DH-10 .....	53
<b>Tabel 50.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-01 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	53
<b>Tabel 51.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-02 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	54
<b>Tabel 52.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-03 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	54
<b>Tabel 53.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-04 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	55
<b>Tabel 54.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-05 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	55
<b>Tabel 55.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-06 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	56
<b>Tabel 56.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-07 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	56
<b>Tabel 57.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-08 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	57
<b>Tabel 58.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-09 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	57
<b>Tabel 59.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-10 dengan Periode Ulang Gempa 200 Tahun .....	58
<b>Tabel 60.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-01 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	58
<b>Tabel 61.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-02 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	59
<b>Tabel 62.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-03 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	59
<b>Tabel 63.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-04 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun .....	60

<b>Tabel 64.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-05 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....	61
<b>Tabel 65.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-06 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....	61
<b>Tabel 66.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-07 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....	62
<b>Tabel 67.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-08 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....	62
<b>Tabel 68.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-09 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....	63
<b>Tabel 69.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-10 dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....	63
<b>Tabel 70.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-01 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	64
<b>Tabel 71.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-02 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	64
<b>Tabel 72.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-03 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	65
<b>Tabel 73.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-04 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	65
<b>Tabel 74.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-05 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	66
<b>Tabel 75.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-06 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	66
<b>Tabel 76.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-07 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	67
<b>Tabel 77.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-08 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	67
<b>Tabel 78.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-09 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....	68

<b>Tabel 79.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-10 dengan Periode Ulang Gempa 2500 Tahun .....	68
<b>Tabel 80.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-01 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	69
<b>Tabel 81.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-02 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	69
<b>Tabel 82.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-03 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	70
<b>Tabel 83.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-04 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	70
<b>Tabel 84.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-05 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	71
<b>Tabel 85.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-06 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	71
<b>Tabel 86.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-07 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	72
<b>Tabel 87.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-08 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	72
<b>Tabel 88.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-09 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	73
<b>Tabel 89.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-10 dengan Periode Ulang Gempa 5000 Tahun .....	73
<b>Tabel 90.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-01 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	74
<b>Tabel 91.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-02 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	74
<b>Tabel 92.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-03 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	75
<b>Tabel 93.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-04 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	75

<b>Tabel 94.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-05 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	76
<b>Tabel 95.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-06 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	76
<b>Tabel 96.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-07 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	77
<b>Tabel 97.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-08 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	77
<b>Tabel 98.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-09 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	78
<b>Tabel 99.</b> Faktor Keamanan pada titik DH-10 dengan Periode Ulang Gempa 10000 Tahun .....	78

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gempa bumi adalah salah satu fenomena alam yang berdampak besar bagi masyarakat. Dampak kerusakannya akan semakin besar jika percepatan, intensitas, dan durasinya semakin tinggi. Gempa bumi terjadi akibat adanya getaran di permukaan bumi yang disebabkan oleh pergerakan kerak atau lempeng bumi. Indonesia menjadi zona pertemuan lempeng dunia karena terletak di antara Benua Asia dan Benua Australia serta diapit oleh Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Oleh sebab itu negara kita sering mengalami gempa bumi.

Kota Mamuju adalah Kota yang dikelilingi oleh beberapa sesar aktif seperti Sesar Makassar Thrust, Sesar Palu-Koro, Sesar Poso, Sesar Matano, Sesar Lawanopo, Sesar Walanae, sehingga wilayah ini termasuk wilayah yang rawan gempa. Gempa bumi berkekuatan besar mengguncang Kota Mamuju dan sekitarnya pada tahun 2021. Gempa ini memberi dampak kerusakan yang dahsyat, utamanya bagi warga di pesisir Kota Mamuju. Banyak bangunan mengalami kerusakan kecil, sedang, hingga besar.

Pada kondisi lingkungan tertentu, bencana gempa bumi dapat menyebabkan peristiwa likuifaksi. Likuifaksi merupakan proses hilangnya kekuatan tanah karena adanya getaran yang disebabkan oleh gempa bumi yang kuat pada kondisi tanah jenuh air. Likuifaksi terjadi dengan

proses berubahnya sifat tanah dari padat menjadi cair karena beban siklik, kemudian tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertical sehingga menyebabkan tegangan efektif tanah berkurang. Kota Mamuju yang pernah mengalami guncangan bumi yang kuat yang pusatnya berada di pesisir pantai sehingga berpotensi terjadi likuifaksi. Maka dari itu, penelitian terkait potensi likuifaksi di pesisir Kota Mamuju penting untuk dilaksanakan agar dapat mencegah atau meminimalisir jika likuifaksi tersebut terjadi pada daerah yang akan dilakukan penelitian.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang dipaparkan di atas, maka dibuat rumusan masalah:

1. Bagaimana kondisi geoteknik di pesisir Kota Mamuju?
2. Bagaimana potensi likuifaksi pada pesisir Kota Mamuju dengan menggunakan data SPT dan data kegempaan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi geoteknik daerah pesisir Kota Mamuju.
2. Mengetahui potensi likuifaksi pada pesisir Kota Mamuju dengan menggunakan data SPT dan data kegempaan.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun ruang lingkup untuk mencapai tujuan penelitian di atas adalah:

1. Analisa likuifaksi menggunakan data hasil pengujian SPT (Standard Penetration Test) di wilayah pesisir Kota Mamuju.
2. Data PGA yang digunakan adalah data pada periode ulang 200 tahun, 500 tahun, 2500 tahun, 5000 tahun, dan 10000 tahun.
3. Data dianalisis menggunakan metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*).

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan tugas akhir ini lebih terarah pada inti permasalahan dan kerangka isi. Gambaran umum mengenai isi penelitian ini, dapat dituliskan sebagai berikut :

##### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang penelitian ini dilakukan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

##### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Memaparkan teori-teori dasar dan tinjauan umum sehubungan dengan judul penulisan yaitu Analisis Potensi Likuifaksi Pada Pesisir Kota Mamuju Menggunakan Metode NCEER.

##### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Menerangkan teknis penelitian yang dilakukan serta cara pengolahan data hasil penelitian.

#### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan data hasil penelitian dan analisis data untuk mencapai hasil penelitian.

#### **BAB 5. PENUTUP**

Menerangkan tentang kesimpulan hasil analisis data penelitian dan saran sebagai hasil pandangan penelitian yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.



## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Definisi Gempa Bumi**

Gempa bumi merupakan getaran asli yang bersumber dari dalam bumi, yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat adanya rekahan bumi pecah yang bergeser dengan keras. Penyebabnya bisa berupa dinamika bumi (tektonik), akibat meteor jatuh, aktivitas gunung merapi, longsor, atau ledakan bom nuklir di bawah permukaan. Gempa bumi yang paling umum terjadi adalah gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik ialah getaran yang dihasilkan dari peristiwa patahnya batuan karena benturan dua lempeng secara perlahan-lahan yang akumulasi energi benturan tersebut melampaui kekuatan batuan (Nur, 2010).

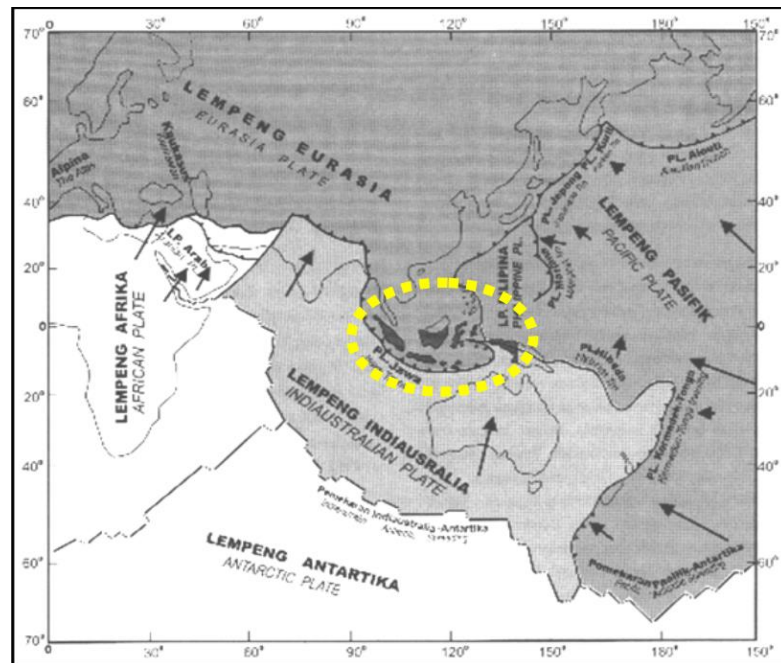
Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama bumi yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan Philipina. Hal ini menyebabkan di Indonesia sering terjadi gempa bumi. Oleh sebab itu, setiap perencanaan pembangunan di Indonesia harus memperhitungkan resiko-resiko yang bisa disebabkan oleh aktivitas kegempaan. Resiko-resiko tersebut dapat berupa kegagalan struktur bangunan dan kegagalan struktur tanah (Hutagalung dan Tarigan, 2019).

Berdasarkan kedalaman fokusnya, gempa diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu gempa dangkal (kurang dari 70 km), gempa menengah (kurang dari 300 km), dan gempa dalam (lebih dari 300 km) (Fowler, 1990).

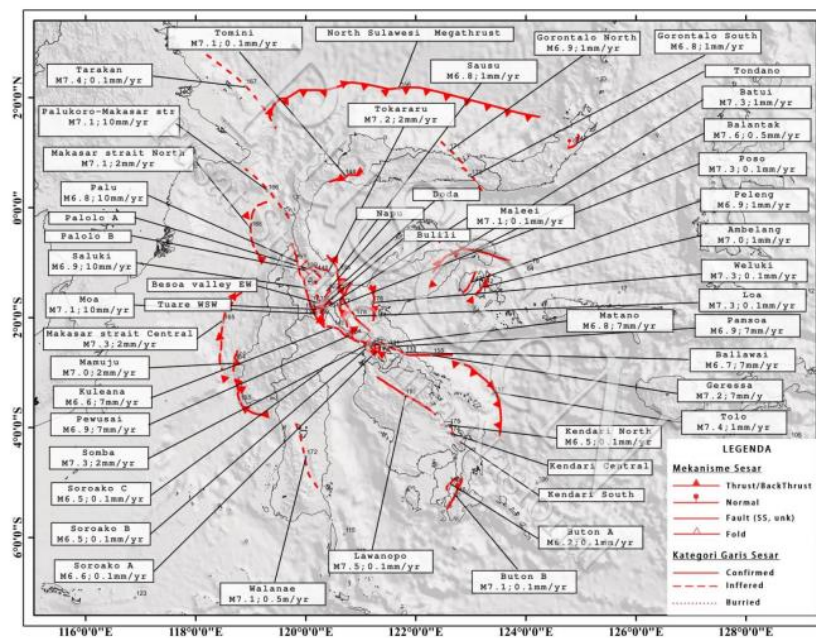
## **2.2 Kondisi Geologi dan Geoteknik Kota Mamuju**

Secara geologi, gempa bumi di dataran Sulawesi Barat terjadi pada Jalur Lipatan dan Patahan Naik Majene yang terbentuk karena benturan pada Pulau Sulawesi. Jika diperhatikan pada catatan USGS dalam kurun waktu 1969 hingga saat ini, di daerah Mamuju memang sering terjadi gempa bumi dengan magnitudo 5M hingga 6M. Gempa-gempa bumi tersebut biasa terjadi di Kabupaten Mamasa dan daerah yang berbatasan dengan Sulawesi Selatan. Hampir seluruh kawasan pantai di Sulawesi Barat, termasuk Mamuju, merupakan daerah yang kerentanannya tinggi terhadap guncangan gempa bumi. Hal itu karena daerah tersebut dekat dengan salah satu sumber gempa yaitu Makassar Thrust, serta karakteristik batuan di kawasan tersebut berumur lebih muda, sehingga mengakibatkan tingginya tingkat kerawanan. Batuan yang berumur lebih muda di daerah dengan topografi lebih datar cenderung lebih lunak dibandingkan batuan tua yang terdapat di pegunungan (Pabendan, 2021).

Pulau Sulawesi terutama pada bagian barat daya, aktif berubah bentuk serta membentuk sesar naik. Pergerakan aktif ini menyebabkan gempa sering terjadi di daerah tersebut. Kota Mamuju adalah daerah yang kondisi-kondisinya meliputi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, dan vulkanisme. Daerah Mamuju batuan vulkanik yang terbentuk akibat proses tektonik yang kompleks, yaitu pertemuan Lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik (Hamilton, 1979).



**Gambar 1.** Indonesia terletak pada zona interaksi 3 lempeng bumi aktif (Sukanto, 2000).



**Gambar 2.** Peta sumber gempa di Pulau Sulawesi (Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

## 2.3 Likuifaksi

### 2.3.1 Pengertian Likuifaksi

Likuifaksi ialah hilangnya kekuatan tanah diakibatkan oleh naiknya tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat beban siklik. Struktur tanah pasir (*cohesionless*) menerima tegangan geser yang berturut-turut mengakibatkan struktur tanah pasir memadat, tetapi karena peristiwa siklik ini terjadi dengan sangat cepat, sehingga pemadatan tidak terjadi dan tegangan air pori meningkat (Idriss, I dan Boulanger, 2008).

Proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair diakibatkan oleh tekanan air pori yang meningkat hingga sama besar dengan tegangan total karena adanya beban siklik yang mengakibatkan tegangan efektif tanah berkurang hingga sama dengan nol. Hal ini menunjukkan bahwa likuifaksi ialah fenomena tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) dalam waktu singkat. Pada saat terjadi gempa, gaya geser yang timbul mengakibatkan pasir bereaksi dan tekanan air pori meningkat. Getaran siklik yang terjadi dalam waktu singkat ini mengakibatkan tanah kehilangan banyak kekuatan atau kekakuannya dan tidak dapat mendukung struktur yang ada di atasnya agar tetap stabil (Jefferies dan Been, 2006).

### 2.3.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Likuifaksi

Proses likuifaksi dapat disebabkan oleh banyak faktor. Berdasarkan hasil uji laboratorium dan observasi serta studi lapangan, faktor-faktor tersebut antara lain adalah (Day, 2001):

1. Intensitas, durasi, dan karakteristik gempa bumi

Tanah akan mengalami likuifaksi jika diberi getaran. Karakteristik getaran tanah yaitu percepatan dan durasi gempa dapat menentukan regangan geser yang menyebabkan reaksi antar partikel tanah dan peningkatan tekanan air pori pada tanah sehingga terjadi likuifaksi. Potensi likuifaksi dapat meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas dan durasi guncangan gempa. Gempa bumi dengan kekuatan tertinggi akan menghasilkan percepatan tanah maksimum pada tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA).

2. Kepadatan relative tanah

Berdasarkan studi lapangan, tanah non-koheusif dengan kepadatan relative yang lepas rentan terhadap likuifaksi. Jika tanah memiliki kepadatan relative yang semakin besar maka ketahanannya terhadap potensi likuifaksi juga semakin besar.

3. Jenis tanah

Ishihara (1996) menyatakan bahwa peristiwa likuifaksi yang pernah terjadi selama gempa bumi ditemukan dalam endapan terdiri dari pasir halus sampai sedang dan pasir dengan rasio plastisitas yang rendah. Sehingga, jenis tanah yang rentan terhadap likuifaksi adalah tanah nonplastis (*nonkohesif*).

#### 4. Muka air tanah

Kondisi paling rentan terjadi likuifaksi adalah permukaan yang dekat dengan muka air tanah. Tanah tidak jenuh yang terletak di atas permukaan air tidak akan mengalami likuifaksi.

#### 5. Gradasi ukuran partikel

Tanah dengan gradasi seragam (*uniformly graded soil*) cenderung tidak stabil dan lebih rentan terhadap likuifaksi dibanding tanah yang bergradasi baik (*well-graded soil*). Tanah yang gradasinya baik memiliki partikel yang saling mengisi rongga dan potensi kontraksi tanah berkurang sehingga tekanan air pori yang dihasilkan lebih sedikit selama gempa atau getaran terjadi. Gradasi tanah pada  $D_{50}$  yang memiliki ukuran butir 0,15 mm hingga 0,35 mm berpotensi mengalami likuifaksi.

#### 6. Kondisi drainase dan dimensi deposit atau endapan

Jika tekanan air pori yang berlebih dapat terdisipasi dengan cepat, maka kemungkinan likuifaksi tidak akan terjadi. Maka dari itu, drainase dengan kerikil permeable atau lapisan kerikil mampu mengurangi potensi terjadinya likuifaksi. Selain itu, endapan alami yang terbentuk di danau, sungai, atau lautan cenderung membentuk lapisan konsistensi tanah lepas dan terjadi segregasi sehingga lebih rentan terjadi likuifaksi. Tanah yang sangat rentan terhadap likuifaksi terbentuk di lingkungan pengendapan *lacustrine*, *alluvial*, dan *marine*.

### **2.3.3 Mekanisme Terjadinya Likuifaksi**

Analisis potensi terjadinya likuifaksi diasumsikan selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi disipasi yang berarti di lapisan tanah. Dengan kata lain, belum terjadi redistribusi tekanan air pori pada massa tanah. Tanah mengalami tekanan sebelum proses disipasi terjadi karena adanya beban siklik (beban gempa). Hal ini mengakibatkan tekanan air pori meningkat. (Tijow, K, Sompie, O, B, & Ticoh, J, 2018).

Selama gempa bumi, tegangan geser siklik yang disebabkan oleh rambatan gelombang geser menyebabkan pasir lepas bereaksi dan menghasilkan tekanan air pori yang meningkat. Akibatnya, air di dalam tanah tidak dapat keluar. Tekanan air pori

yang meningkat menyebabkan aliran air ke atas permukaan berupa semburan lumpur atau pasir. Tekanan air pori meningkat disebabkan oleh tanah yang bergerak mengakibatkan air mengalir ke atas dan mengubah pasir dari fase padat menjadi fase cair. Inilah yang disebut dengan likuifaksi. (Day, 2001).

#### **2.3.4 Dampak dari terjadinya Likuifaksi**

Likuifaksi pada tanah sifatnya merusak dan dapat menimbulkan dampak negatif yang cukup besar terhadap stabilitas tanah serta bangunan di atasnya. Beberapa dampak yang ditimbulkan dari likuifaksi adalah: (Marcuson, 1978)

1. Terjadinya penurunan tanah hingga 5% ketebalan lapisan tanah terlikuifaksi.
2. Terjadinya kehilangan daya dukung lateral tanah.
3. Terjadinya kehilangan daya dukung tanah.
4. Terjadinya pengapungan struktur yang dibenamkan dalam tanah, seperti tanki di bawah tanah.
5. Meningkatkan tekanan lateral tanah yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur penahan tekanan lateral tanah, seperti quay walls.
6. Terjadinya lateral spreading (limited lateral movements).
7. Terjadinya lateral flow (extensive lateral movements).



### 2.3.5 Analisis Likuifaksi

Metode yang digunakan pada analisis likuifaksi adalah metode yang telah disepakati oleh workshop mengenai CRR oleh NCEER pada tahun 1996 dan tahun 1998, yang termuat dalam *Journal Of Geotechnical Engineering*, volume 127, Nomor 10, Oktober 2001 halaman 817-833. Workshop tersebut diketuai oleh Youd, . L. dan Idriss, I. M. Pada dasarnya workshop tersebut mengembangkan *simplified procedure* yang diusulkan oleh Seed dan Idriss, 1971, yang difokuskan pada analisis ketahanan tanah terhadap bahaya likuifaksi (CRR). (Idriss dan Boulanger, 2008).

Dalam analisis potensi likuifaksi dibutuhkan nilai pegangan untuk mengetahui apakah likuifaksi terjadi atau tidak. Nilai pegangan disebut juga faktor keamanan. Dalam menganalisis faktor keamanan, dibutuhkan nilai-nilai yang harus dievaluasi terlebih dahulu. Nilai tersebut adalah nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dalam bentuk persamaan (Youd dan Idriss, 2001) :

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \quad (1)$$

$$\text{Jika } FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF < 1 \text{ (terjadi Likuifaksi)}$$

$$\text{Jika } FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF = 1 \text{ (kondisi kritis)}$$

$$\text{Jika } FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF > 1 \text{ (tidak terjadi Likuifaksi)}$$

## 2.4 Perhitungan CSR dan CRR

### 2.4.1 Cyclic Stress Ratio (CSR)

*Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang diakibatkan oleh gempa bumi dapat menyebabkan likuifaksi pada tanah pasir jenuh. Besarnya nilai CSR dipengaruhi oleh percepatan gempa maksimum, percepatan bumi, tegangan vertikal total, tegangan vertikal efektif, dan reduksi faktor kedalaman. Perhitungan untuk nilai CSR yaitu sebagai berikut (Seed dan Idriss, 1971):

$$CSR = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \quad (2)$$

Dimana :

$a_{max}$  = Percepatan tanah maximum akibat gempa (m/s<sup>2</sup>)

$g$  = Percepatan gravitasi 9,81 m/s<sup>2</sup>

$\sigma_v$  = Tegangan vertikal total tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_v$  = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$r_d$  = Koefisien reduksi tegangan geser

Untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan geser ( $r_d$ ), formulasinya dikemukakan oleh T. F. Blake (1996) dalam (Youd, T.L. and Idriss, 2001) :

$$r_d = \frac{1,0 - 0,4113z^{1,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{1,0 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,00121z^2} \quad (3)$$

Dimana  $z$  pada persamaan (3) tersebut adalah kedalaman di bawah permukaan tanah dalam meter.

#### 2.4.2 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

*Cyclic Resistance Ratio* (CRR) atau kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi dapat ditentukan berdasarkan data hasil uji. Idriss dan Boulanger (2008) memformulasikan beberapa parameter nilai untuk persamaan menghitung nilai CRR yang ditambahkan dengan nilai momen magnitude 7.5 yang diformulasikan pada persamaan berikut:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left[ \frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right]^2 - \left[ \frac{(N_1)_{60CS}}{23.6} \right]^3 + \left[ \frac{(N_1)_{60CS}}{25.4} \right]^4 - 2.8 \right] \quad (4)$$

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \quad (5)$$

Dimana:

$(N_1)$  = Nilai koreksi N SPT

$N_m$  = N-SPT yang diperoleh dari tes lapangan

$C_N$  = Faktor normalisasi  $N_m$  terhadap tegangan overburden

$C_E$  = Koreksi rasio energi hammer

$C_B$  = Koreksi diameter lubang bor

$C_R$  = Faktor koreksi panjang batang

$C_s$  = Faktor koreksi sampel

Karena peningkatan nilai N-SPT dengan meningkatnya tegangan *overburden* efektif, maka faktor koreksi tegangan *overburden* harus dihitung. Faktor ini dihitung dengan persamaan (Youd and Idriss, 2001) sebagai berikut:

$$C_N = 2,2 / (1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}) \quad (6)$$

Dimana:

$\sigma'_v$  = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$P_a$  = Tekanan atmosfer 100 kPa (1 atm)

Dimana  $C_N$  tidak melebihi 1,7.

Untuk koreksi rasio energy hammer ( $C_E$ ) dapat diperkirakan dari nilai rata-rata yang diberikan oleh Seed et al. (1985) dalam (Rauch, 1997):

<u>Country:</u>	<u>Hammer Type:</u>	<u>Hammer Release:</u>	ER	$C_E$
United States	Safety	Rope and pulley	60	1.00
United States	Donut	Rope and pulley	45	0.75
Japan	Donut	Rope and pulley, special throw release	67	1.12
Japan	Donut	Free fall	78	1.30

Untuk factor koreksi diameter lubang bor ( $C_B$ ), nilai berikut adalah yang direkomendasikan oleh Robertson and Fear (1996) dalam (Rauch, 1997):

<u>Diameter of Borehole:</u>	$C_B$
65 to 115 mm (2.5 to 4.5 inch)	1.00
150 mm (6 inch)	1.05
200 mm (8 inch)	1.15

Selanjutnya factor koreksi panjang batang ( $C_R$ ). Dalam rekomendasi NCEER, nilai factor koreksi  $C_R$  diberikan untuk rentang panjang batang. Nilai yang direkomendasikan adalah dengan persamaan berikut:

- *For  $z \leq 3$  m:*  $C_R = 0.75$
- *For  $3 < z < 9$  m:*  $C_R = (15 + z) / 24$
- *For  $z \geq 9$  m:*  $C_R = 1.0$

Dimana nilai  $z$  adalah panjang batang bor dalam meter (kurang lebih sama dengan kedalaman  $N_{SPT}$ ).

Factor koreksi yang terakhir adalah faktor koreksi sampel. Nilai  $C_s = 1,0$  untuk sampel standar.

Berikutnya menghitung nilai  $(N_1)_{60cs}$  yang dipengaruhi oleh nilai Fines Content itu sendiri :

$$\text{clean-sand equivalent } (N_1)_{60} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (7)$$

- *Untuk  $FC \leq 5\%$ :*  $\Delta(N_1)_{60} = 0,0$
- *Untuk  $5 < FC < 35\%$ :*  $\Delta(N_1)_{60} = 7*(FC - 5) / 30$
- *Untuk  $FC \geq 35\%$ :*  $\Delta(N_1)_{60} = 7.0$

### 2.4.3 Factor of Safety (FS)

Untuk menghitung faktor keamanan likuifaksi, digunakan persamaan berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (8)$$

Seed dan Idriss mendapatkan nilai MSF untuk magnitudo lebih kecil dari 7,5 dan magnitudo lebih besar dari 7,5 adalah sebagai berikut :

$$M_w < 7,5, MSF = 10^{2,24} / M_w^{2,56} \quad (9)$$

$$M_w > 7,5, MSF = (M_w / 7,5)^{-2,56} \quad (10)$$

Untuk menghitung CRR dengan besar magnitudo gempa selain 7,5 diperlukan factor koreksi yang disebut magnitudo scale factor (MSF). Dalam hal ini persamaannya oleh Seed (1983) dalam (Lonteng dkk, 2013) :

$$CRR_{M_w} = CRR_{7,5} * MSF \quad (11)$$