

# SKRIPSI

## ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA DAERAH BAROMBONG KOTA MAKASSAR DENGAN MENGUNAKAN METODE NCEER (NATIONAL CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH)

Disusun dan diajukan oleh:

**WIRDA AULIA**  
**D011 20 1101**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA DAERAH BAROMBONG KOTA MAKASSAR DENGAN MENGGUNAKAN METODE NCEER (NATIONAL CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH)

Disusun dan diajukan oleh

**WIRDA AULIA**  
**D011 20 1101**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 14 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.

NIP: 196805292002121002

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Ir. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.S.c.

NIP: 197607072005011002



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Wirda Aulia  
NIM : D011201101  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Potensi Likuifaksi pada Daerah Barombong Kota Makassar dengan Menggunakan Metode NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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 risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 Juli 2024

Yang Menyatakan



METERAI TEMPEL  
02BF5ALX250485717  
Wirda Aulia



## ABSTRAK

**WIRDA AULIA.** *Analisis Potensi Likuifaksi pada Daerah Barombong Kota Makassar dengan Menggunakan Metode NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research)* (dibimbing oleh Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc.)

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Kota Makassar adalah Kota yang dikelilingi oleh beberapa sesar aktif seperti Sesar Gorontalo, Sesar Palu-Koro, Sesar Matano, Sesar Lawanopo, dan Sesar Walanae sehingga menyebabkan wilayah ini rawan terhadap masalah gempa. Pada suatu kondisi tertentu, gelombang gempa dapat menyebabkan likuifaksi ketika tanah non-kohefif jenuh air yang kehilangan kuat gesernya diguncang beban siklik yang menyebabkan tekanan air pori akan meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal sehingga tegangan efektif tanah berkurang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geoteknik daerah pesisir Kota Makassar dan mengetahui potensi likuifaksi pada pesisir Kota Makassar 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 NCEER dengan *software Novoliq* untuk menganalisis potensi likuifaksi dengan memperoleh nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan CRR dan CSR. Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian lapangan SPT dan pengujian laboratorium pada Perencanaan Jembatan Barombong Baru yang diuji pada tahun 2023. Data kegempaan di sekitar Kota Makassar dirujuk dari penelitian Studi Kegempaan Kota Makassar dengan Metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) pada tahun 2022.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada BH-02 dengan periode ulang gempa 200 Tahun, 500 Tahun, 2500 Tahun, 5000 Tahun, dan 10000 Tahun terdapat potensi likuifaksi pada kedalaman 2 – 18 meter. Sedangkan pada BH-08 dengan periode ulang gempa 200 Tahun, 500 Tahun, 2500 Tahun, 5000 Tahun, dan 10000 Tahun tidak memiliki potensi likuifaksi. Semakin besar kekuatan gempa dan periode ulang gempa, maka semakin besar pula potensi likuifaksi.

Kata Kunci: Gempa Bumi, Likuifaksi, Faktor Keamanan, CSR, CRR, Novoliq



## ABSTRACT

**WIRDA AULIA.** *Analysis of Liquefaction Potential in the Barombong Area of Makassar City Using the NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) Method* (supervised by Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc.)

An earthquake is the shaking of the earth due to a sudden release of energy within the planet characterized by the fracture of rock layers in the earth's crust. Makassar City is surrounded by several active faults such as the Gorontalo Fault, Palu-Koro Fault, Matano Fault, Lawanopo Fault, and Walanae Fault, making the region prone to earthquake problems. Under certain conditions, earthquake waves can cause liquefaction when water-saturated non-cohesive soils that lose their shear strength are shaken by cyclic loads that cause pore water pressure to increase near or beyond the vertical stress so that the effective stress of the soil is reduced.

The purpose of this study is to determine the geotechnical condition of the coastal area of Makassar City and to determine the potential for liquefaction on the coast of Makassar City using Standard Penetration Test (SPT) data and seismicity data. In this liquefaction potential analysis, earthquake PGA data with a return period of 200 years, 500 years, 2500 years, 5000 years, and 10000 years are used.

This research uses the NCEER method with Novoliq software to analyze liquefaction potential by obtaining a safety factor value from the ratio of CRR and CSR. The soil data used in this study are the results of SPT field testing and laboratory testing on the New Barombong Bridge Planning tested in 2023. Seismic data around Makassar City is referred from the Makassar City Seismic Study research with the PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) Method in 2022.

The results of this research show that at BH-02 with earthquake return periods of 200 years, 500 years, 2500 years, 5000 years, and 10,000 years there is potential for liquefaction at a depth of 2 - 18 meters. Meanwhile, at BH-08 with earthquake return periods of 200 years, 500 years, 2500 years, 5000 years and 10000 years does not have liquefaction potential. The greater the earthquake strength and return period, the greater the liquefaction potential. The greater the earthquake strength and return period, the greater the liquefaction potential.

Keywords: Earthquake, Liquefaction, Factor of Safety, CSR, CRR, Novoliq



## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....                           | i    |
| PERNYATAAN KEASLIAN.....                                 | ii   |
| ABSTRAK .....  | iii  |
| ABSTRACT .....   | iv   |
| DAFTAR ISI.....  | v    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                      | vi   |
| DAFTAR TABEL.....  | viii |
| DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....                   | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                                     | xiv  |
| KATA PENGANTAR .....                                     | xv   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                | 1    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                              | 2    |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                             | 2    |
| 1.5 Ruang Lingkup.....                                   | 2    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                             | 3    |
| 2.1 Definisi Gempa Bumi .....                            | 3    |
| 2.2 Kondisi Geologi dan Geoteknik Kota Makassar.....     | 4    |
| 2.3 Likuifaksi .....                                     | 6    |
| 2.4 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> (FS) .....       | 10   |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                           | 15   |
| 3.1 Lokasi Penelitian.....                               | 15   |
| 3.2 Peralatan Penelitian.....                            | 15   |
| 3.3 Pengumpulan Data .....                               | 15   |
| 3.4 Prosedur Penelitian.....                             | 20   |
| 3.5 Bagan Alir Penelitian.....                           | 26   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                        | 27   |
| 4.1 Deskripsi Daerah Penelitian.....                     | 27   |
| 4.2 Hasil Analisis Data SPT dan Klasifikasi Tanah.....   | 28   |
| 4.3 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi Kota Makassar..... | 30   |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                          | 93   |
| 5.1 Kesimpulan .....                                     | 93   |
| 5.2 Saran.....   | 93   |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                     | 94   |
| LAMPIRAN.....  | 97   |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1 Struktur Geologi Regional di Pulau Sulawesi (Katalog PuSGen, dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) .....  | 4  |
| Gambar 2 Peta sumber gempa di Pulau Sulawesi (Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017) .....  | 5  |
| Gambar 3 Mekanisme Terjadinya Likuifaksi (Korff, 2022) .....   | 8  |
| Gambar 4 Lokasi penelitian terletak di Kota Makassar, Sulawesi Selatan .....   | 15 |
| Gambar 5 Titik Pengambilan Data SPT .....  | 16 |
| Gambar 6 <i>Boring Log</i> dan Hasil Pengujian SPT BH-02 .....   | 16 |
| Gambar 7 <i>Boring Log</i> dan Hasil Pengujian SPT BH-08 .....   | 17 |
| Gambar 8 Nilai D50 pada Kurva Distribusi Ukuran Butiran BH-02 .....  | 18 |
| Gambar 9 Jarak Walanae Fault ke kota Makassar (Azizah, 2022) .....   | 19 |
| Gambar 10 <i>Software</i> Novoliq .....  | 20 |
| Gambar 11 Tampilan Utama dan Input Data untuk BH-02 pada <i>Software</i> Novoliq .....   | 22 |
| Gambar 12 Tampilan Utama dan Input Data untuk BH-08 pada <i>Software</i> Novoliq .....   | 22 |
| Gambar 13 Contoh input data kegempaan pada BH-02 untuk periode ulang 200 Tahun .....   | 24 |
| Gambar 14 Pengaturan analisis pada <i>software</i> Novoliq .....   | 24 |
| Gambar 15 Tampilan analisis data pada <i>software</i> Novoliq .....  | 25 |
| Gambar 16 Bagan Alir Penelitian .....  | 26 |
| Gambar 17 Grafik Nilai CSR dengan Variasi Periode Ulang Gempa pada BH-02 .....   | 36 |
| Gambar 18 Grafik Nilai CSR dengan Variasi Periode Ulang Gempa pada BH-08 .....   | 36 |
| Gambar 19 Nilai CRR dengan Variasi Magnitudo Gempa untuk BH-02 dengan metode NCEER .....   | 40 |
| Gambar 20 Nilai CRR dengan Variasi Magnitudo Gempa untuk BH-02 dengan metode Boulanger & Idriss .....  | 41 |
| Gambar 21 Nilai CRR dengan Variasi Magnitudo Gempa untuk BH-02 dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....   | 41 |
| Gambar 22 Nilai CRR dengan Variasi Magnitudo Gempa untuk BH-08 dengan metode NCEER .....   | 42 |
| Gambar 23 Nilai CRR dengan Variasi Magnitudo Gempa untuk BH-08 dengan metode Boulanger & Idriss .....  | 42 |
| Gambar 24 Nilai CRR dengan Variasi Magnitudo Gempa untuk BH-08 dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....   | 43 |
| Gambar 25 Nilai <i>Probability of Liquefaction</i> (PL) pada titik BH-02 .....   | 62 |
| Gambar 26 Nilai <i>Probability of Liquefaction</i> (PL) pada titik BH-08 .....   | 62 |
| Gambar 27 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 85 |
| Gambar 28 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 85 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 29 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....   | 86 |
| Gambar 30 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....   | 86 |
| Gambar 31 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 87 |
| Gambar 32 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 87 |
| Gambar 33 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 88 |
| Gambar 34 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 88 |
| Gambar 35 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 89 |
| Gambar 36 Perbandingan Nilai Faktor Keamanan BH-09 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode NCEER, Boulanger & Idriss, dan <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 89 |
| Gambar 37 Gradasi tanah yang berpotensi likuifaksi .....   | 90 |
| Gambar 38 Kurva potensi likuifaksi berdasarkan ukuran butir tanah pada BH-02 untuk kedalaman 7,5 - 8 .....   | 91 |
| Gambar 39 Kurva potensi likuifaksi berdasarkan ukuran butir tanah pada BH-02 untuk kedalaman 13,5 - 14 .....   | 91 |
| Gambar 40 Kurva potensi likuifaksi berdasarkan ukuran butir tanah pada BH-08 untuk kedalaman 7 - 7,5 .....   | 91 |
| Gambar 41 Kurva potensi likuifaksi berdasarkan ukuran butir tanah pada BH-08 untuk kedalaman 17,5 - 18 .....   | 92 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1 Data Hasil Pengujian Laboratorium BH-02.....   | 17 |
| Tabel 2 Data Hasil Pengujian Laboratorium BH-08.....   | 18 |
| Tabel 3 Magnitudo Maksimum dan Jarak Sumber ke Titik Tinjau (Buku Peta<br>Gempa 2017) .....  | 19 |
| Tabel 4 Perbandingan PGA antara hasil PSHAtools dengan SNI 1726:2019 .....   | 20 |
| Tabel 5 Titik koordinat lokasi pengujian SPT .....   | 27 |
| Tabel 6 Site Klasifikasi berdasarkan Peraturan Gempa Indonesia .....   | 28 |
| Tabel 7 Rekapitulasi nilai N-SPT dan Klasifikasi Situs berdasarkan hasil<br>pengujian SPT pada beberapa titik di Kota Makassar.....      | 29 |
| Tabel 8 Faktor Amplifikasi .....   | 29 |
| Tabel 9 Nilai PSA untuk Tanah Kelas Situs SD (BH-02 dan BH-08).....  | 30 |
| Tabel 10 Data tanah pengujian SPT BH-02.....   | 30 |
| Tabel 11 Data tanah pengujian SPT BH-08.....   | 31 |
| Tabel 12 Hubungan antara Kepadatan, <i>Relative Density</i> , dan Nilai N-SPT pada<br>Tanah Pasir .....                                  | 31 |
| Tabel 13 Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah BH-02.....   | 32 |
| Tabel 14 Korelasi Nilai N-SPT dan <i>Relative Density</i> Tanah BH-08.....   | 32 |
| Tabel 15 Perhitungan Nilai CSR BH-02 dan BH-08 untuk Periode 200 Tahun...  | 33 |
| Tabel 16 Perhitungan Nilai CSR BH-02 dan BH-08 untuk Periode 500 Tahun...  | 34 |
| Tabel 17 Perhitungan Nilai CSR BH-02 dan BH-08 untuk Periode 2500 Tahun<br>.....   | 34 |
| Tabel 18 Perhitungan Nilai CSR BH-02 dan BH-08 untuk Periode 5000 Tahun<br>.....   | 35 |
| Tabel 19 Perhitungan Nilai CSR BH-02 dan BH-08 untuk Periode 10000<br>Tahun.....   | 35 |
| Tabel 20 Hasil Perhitungan MSF dengan Variasi Magnitudo Gempa.....   | 37 |
| Tabel 21 Perhitungan Nilai CRR pada titik BH-02 dengan Metode NCEER .....  | 37 |
| Tabel 22 Perhitungan Nilai CRR pada titik BH-02 dengan Metode Boulanger<br>& Idriss.....   | 38 |
| Tabel 23 Perhitungan Nilai CRR pada titik BH-02 dengan Metode <i>Japanese<br/>Highway Bridge Code</i> .....                              | 38 |
| Tabel 24 Perhitungan Nilai CRR pada titik BH-08 dengan Metode NCEER .....  | 39 |
| Tabel 25 Perhitungan Nilai CRR pada titik BH-08 dengan Metode Boulanger<br>& Idriss.....   | 39 |
| Tabel 26 Perhitungan Nilai CRR pada titik BH-08 dengan Metode <i>Japanese<br/>Highway Bridge Code</i> .....                              | 40 |
| Tabel 27 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 200<br>Tahun dengan Metode NCEER.....                                | 44 |
| Tabel 28 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 200<br>Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                  | 45 |
| Tabel 29 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 200<br>Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 45 |
| Tabel 30 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 200<br>Tahun dengan Metode NCEER.....                                | 46 |



|  |    |
|--|----|
| Tabel 31 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                   | 46 |
| Tabel 32 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 47 |
| Tabel 33 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan Metode NCEER.....                                 | 47 |
| Tabel 34 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                   | 48 |
| Tabel 35 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 48 |
| Tabel 36 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan Metode NCEER.....                                 | 49 |
| Tabel 37 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                   | 49 |
| Tabel 38 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 50 |
| Tabel 39 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan Metode NCEER.....                                | 50 |
| Tabel 40 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                  | 51 |
| Tabel 41 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 51 |
| Tabel 42 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan Metode NCEER.....                                | 52 |
| Tabel 43 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                  | 52 |
| Tabel 44 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 53 |
| Tabel 45 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan Metode NCEER.....                                | 53 |
| Tabel 46 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                  | 54 |
| Tabel 47 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 54 |
| Tabel 48 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan Metode NCEER.....                                | 55 |
| Tabel 49 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                  | 55 |
| Tabel 50 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 56 |
| Tabel 51 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan Metode NCEER.....                               | 56 |
| Tabel 52 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....                 | 57 |
| Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....         | 57 |
| Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan Metode NCEER.....  | 58 |



|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabel 55 | Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan Metode Boulanger & Idriss .....   | 58 |
| Tabel 56 | Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan Metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....  | 59 |
| Tabel 57 | Nilai <i>Probability of Liquefaction</i> (PL) pada titik BH-02.....   | 60 |
| Tabel 58 | Nilai <i>Probability of Liquefaction</i> (PL) pada titik BH-08.....   | 61 |
| Tabel 59 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode NCEER.....                                       | 63 |
| Tabel 60 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode metode Boulanger & Idriss.....                   | 64 |
| Tabel 61 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 64 |
| Tabel 62 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode NCEER.....                                       | 65 |
| Tabel 63 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                         | 65 |
| Tabel 64 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 200 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....        | 66 |
| Tabel 65 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode NCEER.....                                       | 66 |
| Tabel 66 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                         | 67 |
| Tabel 67 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....        | 67 |
| Tabel 68 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode NCEER.....                                       | 68 |
| Tabel 69 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                         | 68 |
| Tabel 70 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 500 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....        | 69 |
| Tabel 71 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode NCEER.....                                      | 69 |
|          | ! Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                      | 70 |



|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabel 73 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....    | 70 |
| Tabel 74 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode NCEER .....                                  | 71 |
| Tabel 75 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                     | 71 |
| Tabel 76 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 2500 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....    | 72 |
| Tabel 77 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode NCEER .....                                  | 72 |
| Tabel 78 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                     | 73 |
| Tabel 79 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....    | 73 |
| Tabel 80 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode NCEER .....                                  | 74 |
| Tabel 81 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                     | 74 |
| Tabel 82 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 5000 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....    | 75 |
| Tabel 83 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode NCEER .....                                 | 75 |
| Tabel 84 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                    | 76 |
| Tabel 85 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-02 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> .....   | 76 |
| Tabel 86 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode NCEER .....                                 | 77 |
| Tabel 87 | Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode Boulanger & Idriss .....                    | 77 |
|          | ; Hubungan Nilai N-SPT dan Kerapatan Relatif dengan Faktor Keamanan BH-08 pada Periode Ulang Gempa 10000 Tahun dengan metode <i>Japanese Highway Bridge Code</i> ..... | 78 |



|  |    |
|--|----|
| Tabel 89 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 200 Tahun.....   | 79 |
| Tabel 90 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 200 Tahun.....   | 80 |
| Tabel 91 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....   | 80 |
| Tabel 92 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 500 Tahun.....   | 81 |
| Tabel 93 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....  | 81 |
| Tabel 94 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 2500 Tahun.....  | 82 |
| Tabel 95 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun.....  | 82 |
| Tabel 96 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 5000 Tahun.....  | 83 |
| Tabel 97 Faktor Keamanan pada titik BH-02 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun..... | 83 |
| Tabel 98 Faktor Keamanan pada titik BH-08 untuk Periode Ulang Gempa 10000 Tahun..... | 84 |



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

| Lambang/Singkatan | Arti dan Keterangan   |
|-------------------|---|
| FS                | Faktor keamanan ( <i>Factor of Safety</i> )                                   |
| CSR               | Nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi ( <i>Cyclic Stress Ratio</i> ) |
| CRR               | Kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi ( <i>Cyclic Resistance Ratio</i> )   |
| $a_{\max}$        | Percepatan tanah maksimum akibat gempa  |
| $g$               | Percepatan gravitasi  |
| $\sigma_v$        | Tegangan vertikal total tanah   |
| $\sigma'_v$       | Tegangan vertikal efektif tanah   |
| $r_d$             | Koefisien reduksi tegangan geser  |
| $z$               | Kedalaman di bawah permukaan tanah  |
| $(N_1)_{60}$      | Nilai SPT terkoreksi  |
| $N_m$             | N-SPT yang diperoleh dari tes lapangan  |
| $C_N$             | Faktor normalisasi $N_m$ terhadap <i>overburden</i>                           |
| $C_E$             | Koreksi rasio energi <i>hammer</i>  |
| $C_B$             | Koreksi diameter lubang bor   |
| $C_R$             | Faktor koreksi panjang batang   |
| $C_S$             | Faktor koreksi sampel   |
| $P_a$             | Tekanan atmosfer 100 kPa (1 atm)  |
| $(N_1)_{60CS}$    | Nilai SPT terkoreksi yang dipengaruhi oleh nilai <i>Fines Content</i>         |
| MSF               | Faktor pengali magnitude gempa  |
| $M_w$             | Magnitudo gempa   |
| PL                | Kemungkinan terjadinya likuifaksi ( <i>Probability of Liquefaction</i> )      |



## DAFTAR LAMPIRAN

|   |     |
|---|-----|
| Lampiran 1 <i>Boring Log and SPT Test Result</i> .....                      | 97  |
| Lampiran 2 Hasil Perhitungan D50.....                                       | 99  |
| Lampiran 3 Tabel Perhitungan Potensi Likuifaksi pada Pesisir Kota Mamuju .. | 101 |



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Potensi Likuifaksi pada Pesisir Kota Makassar Menggunakan Metode NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research)**” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa pula kita kirimkan shalawat dan salam kepada Nabiullah Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wa Sallam beserta keluarga, sahabat, dan orang-orang yang istiqamah mengikutinya hingga hari ini.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi strata satu di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan skripsi ini tidak dapat dipungkiri terdapat kesulitan yang dihadapi penulis. Namun berkat dukungan dan arahan dari berbagai pihak penulis mampu melewati kesulitan tersebut. Penulis menyampaikan teruma kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta, Ayahanda Hariyanto, Ibunda Akhyani Abdullah, dan Ummi Asiah Hijaz, serta saudara-saudari saya Widya Azuraa dan Kak Azman, dan Muhammad Alfin 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 Dr. Eng Bambang Bakri, S.T., M.T selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc., selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu serta memberikan arahan, saran dan juga nasihat sejak awal itian hingga penyelesaian tugas akhir ini.



6. 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.
7. Kak Hajir, *a really precious person* yang pinjamkan laptop barunya untuk saya gunakan dalam menyusun tugas akhir ini.
8. Saudara-saudariku ENTITAS, yang selalu berbagi cerita, menghadirkan canda tawanya, senantiasa memberikan semangat, dan kebersamaan selama menempuh perkuliahan.
9. Aisa, Andi Alifia Ramadhanti, dan Agung Dwi Putra, rekan tim Geoteknik Gempa 2020 atas kerja sama yang sangat baik dan telah banyak memberikan dukungan serta menjadi sarana diskusi yang luar biasa.
10. Dzakiyyah Mukrim, Aisyah Khumairoh, dan teman-teman Grup Anti Lisa, yang telah setia menjadi *monthly healing* sejak SMA.
11. Teman-teman Cherrybelle, Salsa, Qalbae, dan Farah yang telah memberikan banyak warna dan cerita selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman KKD Geoteknik, yang telah memberikan semangat serta saran dan masukan.
13. Serta semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Tiada kata yang dapat mendeskripsikan rasa terima kasih penulis selain memohon kepada Allah Subhaanahu Wa Ta'ala agar selalu melimpahkan kasih sayang-Nya kepada kita semua, Aamiin. Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan skripsi ini serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Gowa, 21 Juli 2024



Wirda Aulia

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah salah satu fenomena geologi yang paling kuat dan berdampak besar di Bumi. Dampak kerusakannya akan semakin besar jika percepatan, intensitas, dan durasinya semakin tinggi. Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan 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 Makassar adalah Kota yang dikelilingi oleh beberapa sesar aktif seperti sesar Gorontalo, sesar Palu-Koro, sesar Matano, sesar Lawanopo, dan sesar Walanae. Keberadaan sesar-sesar aktif ini menyebabkan Sulawesi rawan terhadap bencana terutama masalah gempa.

Pada suatu kondisi tertentu, gelombang gempa dapat menyebabkan likuifaksi. Likuifaksi terjadi ketika tanah non-kohef jenuh air yang kehilangan kuat gesernya diguncang beban siklik yang disebabkan oleh gempa sehingga tekanan air pori akan meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal sehingga tegangan efektif tanah berkurang. Studi potensi likuifaksi perlu dilakukan untuk dijadikan bahan pertimbangan bagi perencana kontruksi agar dapat dipastikan bahwa bangunan yang akan dibangun di pesisir kota Makassar aman dari likuifaksi.

## 1.2 Rumusan Masalah



ari latar belakang yang telah dibahas, maka rumusan masalah dalam studi  
1 sebagai berikut.

nana kondisi geoteknik di Daerah Barombong kota Makassar?

2. Bagaimana potensi likuifaksi pada Daerah Barombong Kota Makassar dengan menggunakan data SPT dan data kegempaan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi geoteknik Daerah Barombong Kota Makassar.
2. Mengetahui potensi likuifaksi pada Daerah Barombong kota Makassar dengan menggunakan data SPT dan data kegempaan.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mahasiswa dapat menambah wawasan mengenai analisis potensi likuifaksi.
2. Dapat meningkatkan pengetahuan di bidang geoteknik mengenai likuifaksi.

### 1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup untuk mencapai tujuan penelitian di atas adalah:

1. Analisa likuifaksi menggunakan data BH-02 dan BH-08 hasil pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) di Daerah Barombong Kota Makassar.
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 *Software* Novoliq dengan metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*).



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran bumi yang dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan, energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya (Lutgens, 1982). Gempa bumi yang paling umum dan mempunyai pengaruh yang sangat mengerikan adalah gempa tektonik. Gempa tektonik adalah jenis gempa yang disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik di dalam bumi secara mendadak yang mempunyai kekuatan tertentu.

Indonesia merupakan daerah dengan manifestasi tektonik yang ditimbulkan berupa sesar dan gunung api teraktif di Dunia (Kaharuddin, 2011) karena terletak pada pertemuan antara tiga lempeng yang aktif bergerak (*triple junction*), yaitu Lempeng Pasifik yang bergerak relatif ke arah Barat dengan kecepatan 12 cm per tahun, Lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke arah Utara dengan kecepatan 7 cm per tahun, dan menyusup ke dalam Lempeng Eurasia yang relatif diam. Oleh sebab itu, setiap perencanaan pembangunan di Indonesia harus memperhitungkan risiko-risiko yang bisa disebabkan oleh aktivitas kegempaan. Risiko-risiko tersebut dapat berupa kegagalan struktur bangunan dan kegagalan struktur tanah (Hutagalung dan Tarigan, 2019).

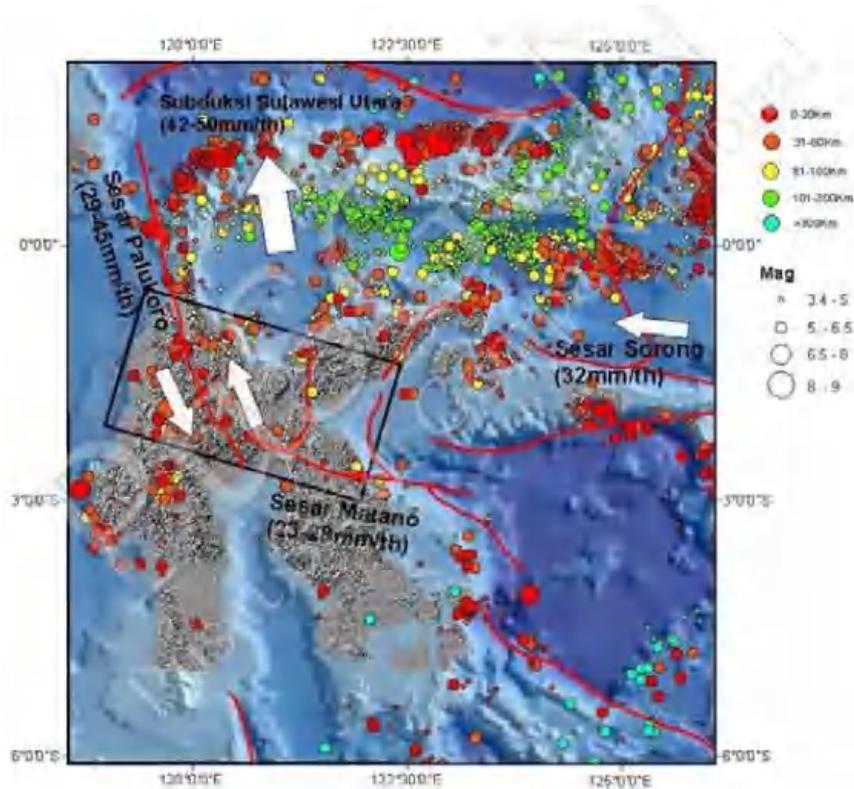
Pada umumnya gempa bumi dapat diklasifikasikan menurut kedalaman fokusnya (*focal depth*). Gempa bumi dengan kedalaman focus 70 km disebut gempa dangkal, kemudian antara 70-300 km disebut sebagai gempa intermediet, dan di bawah 300 km disebut sebagai gempa dalam sedangkan batas dari kedalaman focus adalah 700 km (Hidayat dan Santoso, 1997).

Gempa bumi menimbulkan dampak baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung gempa bumi dapat menyebabkan guncangan, sobekan permukaan, likuifaksi, *rock fall*, longsor, dan rusaknya bangunan. Dampak tidak langsung dari gempa bumi dapat mengakibatkan Tsunami, *mass wasting*, banjir, n, dan kontaminasi zat beracun. (Astyka, 2021)



## 2.2 Kondisi Geologi dan Geoteknik Kota Makassar

Pulau Sulawesi tersusun oleh tatanan tektonik yang kompleks (Hall dkk., 2011). Struktur-struktur yang teridentifikasi di Sulawesi hingga saat ini masih aktif bergerak dan sering menghasilkan gempa. Pulau Sulawesi ini tersusun atas tatanan struktur geologi yang aktif bergerak dengan kecepatan pergeseran yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.



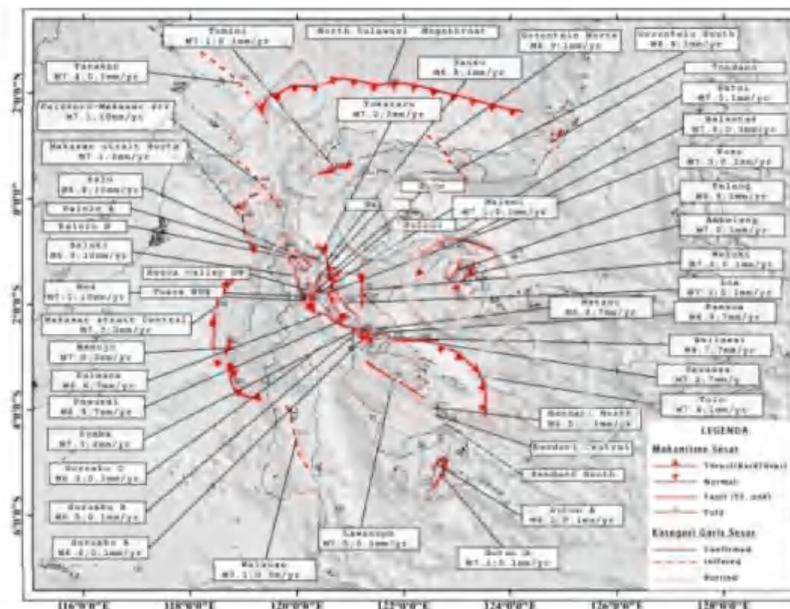
Gambar 1 Struktur Geologi Regional di Pulau Sulawesi (Katalog PuSGen, dalam Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Di sebelah utara Pulau Sulawesi terdapat zona subduksi Sulawesi utara dengan kecepatan pergeseran geodetic 42-50mm/th (Socquetdkk., 2006). Di bagian tengah Sulawesi terdapat sesar Palu Koro yang merupakan sesar utama di Pulau Sulawesi dan tergolong sebagai sesar aktif (Bellier et al., 2001). Daerah Sulawesi Tengah paling tidak mengalami 19 kali kejadian gempa merusak (destructive earthquake) sejak tahun 1910 hingga 2013. Beberapa kejadian gempa tersebut ternyata terletak di darat. Kejadian gempa dengan hiposenter terletak di darat lembah Palu Koro diperkirakan berkaitan dengan aktivitas Sesar Palu. Di wilayah Sulawesi Selatan terdapat sesar Walanae.



Seperti yang terlihat pada **Gambar 1**, daerah Kota Makassar terletak pada jarak yang relatif jauh dari sumber seismik aktif dan tidak dilalui oleh jalur patahan. Walaupun demikian, daerah Kota Makassar dikelilingi oleh patahan-patahan yang sering menimbulkan gempa secara tiba-tiba, selain itu endapan permukaan yang lunak di Kota Makassar dapat memperbesar getaran tanah yang disebabkan oleh gempa bumi jauh. Gempa-gempa tersebut berpotensi memberi pengaruh getaran pada wilayah Kota Makassar, getaran tersebut merambat dari batuan dasar hingga ke permukaan tanah. Hasil penelitian yang termuat dalam revisi peta gempa Indonesia 2010 menunjukkan bahwa Sesar Walanae diperkirakan mampu menghasilkan gempa bumi dengan kekuatan 7,53 (Irsyam, M., dkk, 2010).

Berdasarkan kondisi geologi dan kegempaanannya, kota ini sebagian besar dibangun di atas endapan aluvium berumur Holosen dengan kondisi rentan terhadap bahaya guncangan gempa bumi. Gempa bumi dengan kekuatan  $> 6$  SR pernah terjadi di daerah Sulawesi bagian selatan (Kertapati, 1991), yakni gempa bumi Bulukumba (1828), gempa bumi Tinambung (1967), gempa bumi Majene (1969), gempa bumi Mamuju (1972, 1974), serta gempa bumi Pinrang (1997).



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



## 2.3 Likuifaksi

### 2.3.1 Pengertian likuifaksi

Likuifaksi atau pencairan tanah merupakan suatu fenomena di mana tanah kehilangan kekuatan diakibatkan oleh adanya getaran atau gesekan yang mengakibatkan tekanan air meningkat dan melemahkan daya ikat atau daya dukung tanah. Likuifaksi cenderung terjadi pada tanah yang berbutir halus yang mengandung banyak pasir dan air. Potensi likuifaksi perlu dilakukan untuk bahan pertimbangan bagi perencana konstruksi untuk dapat memastikan bahwa bangunan yang akan dibangun aman dari likuifaksi (Hasbi, 2021).

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 tanah sehingga terjadi likuifaksi. Potensi likuifaksi dapat meningkat 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 relatif tanah

Berdasarkan studi lapangan, tanah non-kohefif dengan kepadatan relatif yang lepas rentan terhadap likuifaksi. Jika tanah memiliki kepadatan relatif 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 non-plastis (non-kohefif).

## 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 D50 yang memiliki ukuran butir 0,15 mm hingga 0,35 mm berpotensi mengalami likuifaksi.

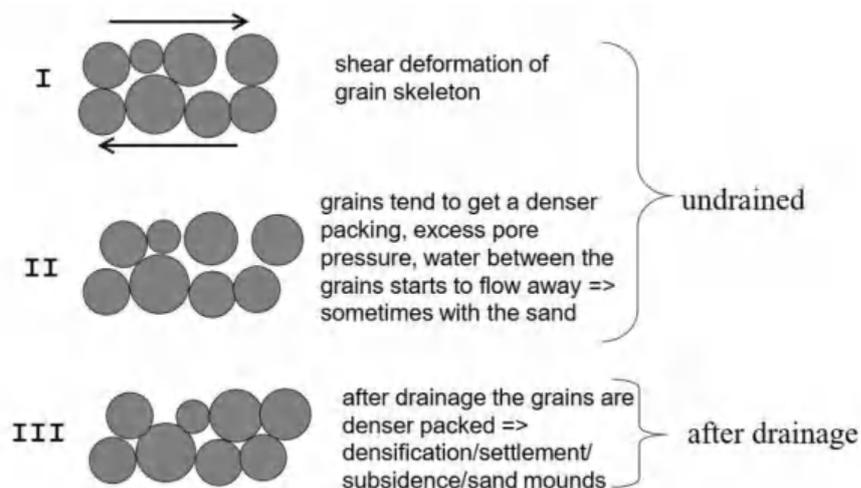
## 6. Kondisi drainase dan dimensi deposit atau endapan

Jika tekanan air pori yang berlebih dapat terdisipasi dengan cepat, maka ngkinan likuifaksi tidak akan terjadi. Maka dari itu, drainase dengan il permeable atau lapisan kerikil mampu mengurangi potensi terjadinya aksi. 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



Gambar 3 Mekanisme Terjadinya Likuifaksi (Korff, 2022)

1. Fase 1: masih terdapat air di antara butir-butir tanah. Ketika getaran seperti gempa terjadi, butiran-butiran tanah bergerak mendekat (dilatasi) satu dengan yang lain karena adanya deformasi. Secara umum air akan lebih mudah keluar (*drained*) pada tanah granular dibanding pada tanah lempung. Namun demikian, karena gempa terjadi pada waktu yang relatif singkat, kecepatan air untuk keluar tidak lebih cepat dari pada gempa itu sendiri (kondisi *undrained*).
2. Fase 2: kondisi *undrained* yang terjadi pada fase 1 menyebabkan terjadinya tekanan air berlebih. Butiran tanah “melayang” di dalam air dan tidak ada gesekan atau kohesi antar butiran sehingga tanah akan kehilangan kekuatannya. Kekuatan tanah berkaitan dengan tegangan efektif tanah. Tekanan air berlebih menyebabkan air keluar dari tanah yang kadang disertai dengan pasir.
3. Fase 3: setelah air keluar dari tanah, tanah kembali bersifat padat, bahkan menjadi lebih kuat dan *density* tanah menjadi lebih padat dari sebelumnya gempa. Namun demikian, likuifaksi yang telah terjadi menyebabkan tidak mampu menopang tegangan/beban yang berada di atasnya. Oleh karena itu, pada fase ini kerusakan infrastruktur yang terdapat di atas tanah telah i.



### 2.3.4 Dampak 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, T. 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 (*Factor of Safety / FS*). 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  $n$  (Youd, T.L. dan Idriss, 2001):

$$n = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF \quad (1)$$



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

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

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

## 2.4 Perhitungan *Factor of Safety* (FS)

### 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. Nilai CSR dapat dihitung menggunakan rumus 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 maksimum akibat gempa ( $m/s^2$ ),

$g$  = Percepatan gravitasi  $9,81$  ( $m/s^2$ ),

$\sigma_v$  = Tegangan vertikal total tanah ( $kN/m^2$ ),

$\sigma'_v$  = Tegangan vertikal efektif tanah ( $kN/m^2$ ),

$r_d$  = Koefisien reduksi tegangan geser

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

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



Kedalaman di bawah permukaan tanah (m)

### 2.4.2 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

*Cyclic Resistance Ratio* (CRR) atau kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi dapat ditentukan berdasarkan data hasil uji. Youd, T. L. dan Idriss (2001) memformulasikan beberapa parameter nilai untuk persamaan menghitung nilai CRR yang ditambahkan dengan nilai momen magnitude 7,5 yang diformulasikan pada persamaan berikut:

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

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

dimana,

$(N_1)_{60}$  = Nilai SPT terkoreksi

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

$C_N$  = Faktor normalisasi  $N_m$  terhadap *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:

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



= Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m<sup>2</sup>)

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

Dengan  $C_N$  tidak melebihi 1,7.

Untuk koreksi rasio energi *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 faktor 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  |

Adapun untuk faktor koreksi panjang batang ( $C_R$ ) hampir sama dengan kedalaman pengujian, dapat dihitung dengan persamaan yang direkomendasikan oleh Dr. Cetin:

$$C_R = \frac{1}{0,989860781 + \frac{4,31663223}{z^2}}, \text{ untuk } z \geq 3 \quad (7)$$

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

Faktor koreksi yang terakhir adalah faktor koreksi sampel. Nilai  $C_S = 1,0$  untuk sampel standar.

Berikutnya menghitung nilai  $(N_1)_{60C_S}$  yang dipengaruhi oleh nilai *Fines*



$$\text{an - sand equivalent } (N_1)_{60} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (8)$$

dimana,

$$\text{Untuk } FC \leq 5\% \quad : \quad \Delta \cdot (N_1)_{60} = 0,0$$

$$\text{Untuk } 5 < FC < 35\% \quad : \quad \Delta \cdot (N_1)_{60} = 7 * (FC - 5)/30$$

$$\text{Untuk } FC \geq 35\% \quad : \quad \Delta \cdot (N_1)_{60} = 7,0$$

### 2.4.3 Factor of Safety (FS)

Untuk menghitung faktor keamanan likuifaksi, digunakan persamaan berikut:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (9)$$

Seed dan Idriss mendapatkan nilai *magnitude scale factor* (MSF) untuk magnitude lebih kecil dari 7,5 dan magnitude lebih besar dari 7,5 adalah sebagai berikut:

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

$$M_W > 7,5, MSF = (M_W / 7,5)^{-2,56} \quad (11)$$

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

$$CRR_{M_W} = CRR_{7,5} * MSF \quad (12)$$

dimana,

$CRR_{7,5}$  = CRR yang dihitung untuk gempa bumi dengan  $M_w = 7,5$

### 2.4.4 Probability of Liquefaction (PL)

Untuk menghitung nilai PL, digunakan persamaan dari Youd and Noble (2001) yang direkomendasikan dalam NCEER *Workshop Report* sebagai berikut:

$$\ln(PL) = \ln\left(\frac{PL}{1-PL}\right) = -7,633 + 2,256M_W - 0,258(N_1)_{60cs} + 3,095 \ln(CRR) \quad (13)$$



PL = kemungkinan terjadinya likuifaksi

$1 - PL$  = kemungkinan tidak terjadinya likuifaksi

