

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT DAN
CPT DI SIRKUIT INTERNASIONAL MANDALIKA**

*Analysis of Liquefaction Potential Based on SPT and CPT Data in the Mandalika
International Circuit*

Tugas Akhir
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

Sindi Ananda Mutiara Hati

F1A019166

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

TUGAS AKHIR

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT DAN CPT DI SIRKUIT INTERNATIONAL MANDALIKA

Oleh:

Sindi Ananda Mutiara Hati
F1A019166

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

1. Pembimbing Utama



Prof. Ir. Didi S. Agustawijaya, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620809 19812 1 001

Tanggal: Juli 2023

2. Pembimbing Pendamping



Dr. Muhajirah, ST., MT.
NIP. 19730719 1999032 002

Tanggal: Juli 2023

Mataram,
Plt. Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hurivandita, ST., MSc(Eng), Dr.Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

TUGAS AKHIR

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT DAN CPT DI SIRKUIT INTERNASIONAL MANDALIKA

Oleh:

Sindi Ananda Mutiara Hati
F1A019166

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 18 Juli 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil
Susunan Tim Penguji

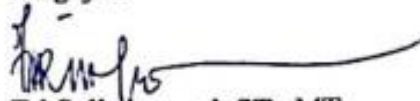
1. Penguji I



Ir. Ismail Hoesain M., MT.
NIP. 1950717 199403 1 001

Tanggal : Juli 2023

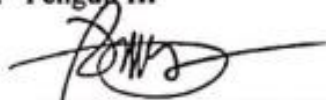
2. Penguji II



Tri Sulistiyowati, ST., MT.
NIP. 19730202 199802 2 001

Tanggal : Juli 2023

3. Penguji III




Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 19740505 199903 1 003

Tanggal : Juli 2023

Mataram, Juli 2023
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram




Muhamad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19720222 199903 1 002

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SINDI ANANDA MUTIARA HATI
NIM : F1A019166
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Mataram

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang telah saya buat dengan judul “*Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT di Sirkuit Internasional Mandalika*” adalah asli (orisinil) atau tidak plagiat (menjiplak) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dan dalam bentuk apapun.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun juga. Apabila dikemudian hari ternyata saya memberikan keterangan palsu dan atau ada pihak lain yang mengklaim bahwa tugas akhir yang telah saya buat adalah hasil karya milik seseorang atau badan tertentu, saya bersedia diproses baik secara pidana maupun perdata dan kelulusan saya dari Universitas Mataram dicabut/dibatalkan.

Dibuat di : Mataram

Pada tanggal : 18 Juli 2023

Yang menyatakan

Sindi Ananda Mutiara Hati
F1A 019 166

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, bimbingan, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan suatu penelitian dengan judul **“Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT di Sirkuit Internasional Mandalika”**.

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana akhir S-1 pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis tidak terlepas dari berbagai kesulitan, sehingga atas bimbingan, bantuan dan dorongan baik moral maupun material dari berbagai pihak sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk menyempurnakan isi dari Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Usulan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Mataram, Juli 2023

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan dukungan baik moral maupun material dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT atas segala berkat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Muhamad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Mataram.
3. Bapak Hariyadi, ST.,MSc(Eng)., Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram.
4. Bapak Prof. Ir. Didi S. Agustawijaya, M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Dr. Muhajirah, ST., MT., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak Pathurahman, ST., MT., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan dan dukungan selama masa perkuliahan di Fakultas Teknik Universitas Mataram.
7. Bapak Ir. Ismail Hoesain M., MT., selaku dosen penguji I yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga dapat tersusun dengan baik.
8. Ibu Tri Sulistyowati, ST., MT., selaku dosen penguji II yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga dapat tersusun dengan baik.
9. Bapak Dr. Ngudiyono, ST., MT., selaku dosen penguji III yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga dapat tersusun dengan baik.
10. Staf Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram yang telah membantu proses administrasi selama masa perkuliahan.

11. Kedua orang tua tercinta, Bapak H. Ahmad Mina, ST., dan Ibu Hj. Baiq Budyaningih. Serta kakak satu-satunya Gigih Surya Pratama. Terimakasih banyak telah memberikan banyak doa dan dukungan di setiap langkah selama berkuliah serta dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
 12. Sahabat baik Izza Ahmad Muharis dan Attar Diansyah Maulana. Terimakasih telah memberikan waktu dan support dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 13. Sahabat kuliah Rizky Nurvaningsih, ST., Sandra Audry Salsabilah, Hasna Sihabuddin, dan Intan Rika Rizki. Terimakasih atas semua motivasi dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal atas bantuan yang diberikan kepada penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Tugas akhir ini mengambil judul “**Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT di Sirkuit Internasional Mandalika**”

Tugas akhir merupakan salah satu persyaratan wajib akademis yang ditempuh oleh mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram dalam menyelesaikan program Pendidikan untuk mencapai tingkat kesarjanaan S-1 (Strata 1).

Mengingat keterbatasan penulis bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis dengan segala keikhlasan hati mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan isi dari tugas akhir ini. Akhir kata semoga, penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Mataram,

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR..... | iv |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PRAKATA..... | v |
| UCAPAN TERIMA KASIH | vi |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN..... | xvi |
| ABSTRAK | xvii |
| ABSTRACT..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II DASAR TEORI | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 5 |
| 2.2 Landasan Teori | 7 |
| 2.2.1 Karakteristik Tanah..... | 7 |
| 2.2.2 Likuifaksi | 11 |
| 2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Likuifaksi | 12 |
| 2.2.4 Bahaya yang Disebabkan Oleh Peristiwa Likuifaksi..... | 14 |
| 2.2.5 <i>Standar Penetration Test</i> (SPT)..... | 14 |
| 2.2.6 <i>Cone Penetration Test</i> (CPT) | 15 |
| 2.2.7 Hidrogeologi | 16 |
| 2.2.7.1 Batuan Sebagai Penghantar Air Tanah | 16 |
| 2.2.7.2 Jenis Batuan Penghantar Air Tanah..... | 18 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.7.3 Penyebaran Air Tanah | 19 |
| 2.2.8 Geologi..... | 22 |
| 2.2.9 Geologi Struktur | 23 |
| 2.2.9.1 Perlipatan (<i>Folds</i>) | 23 |
| 2.2.9.2 Sesar..... | 24 |
| 2.2.10 Gempa Bumi | 26 |
| 2.2.11 Geolistrik | 27 |
| 2.2.12 Metode Untuk Menganalisis Likuifaksi | 30 |
| 2.2.12.1 Metode NCEER (<i>National Center for Earthquake Engineering Research</i>) | 30 |
| 2.2.12.2 Metode CSR (<i>Cyclic Stress Ratio</i>)..... | 31 |
| 2.2.12.3 Metode CRR (<i>Cyclic Resistance Ratio</i>)..... | 33 |
| 2.2.12.3.1 Metode Evaluasi CRR Berdasarkan Data SPT | 33 |
| 2.2.12.3.2 Metode Evaluasi CRR Berdasarkan Data CPT..... | 35 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 37 |
| 3.1 Metode Penelitian | 37 |
| 3.2 Lokasi Penelitian..... | 37 |
| 3.3 Prosedur Penelitian | 38 |
| 3.3.1 Survei Pendahuluan | 38 |
| 3.3.2 Studi Literatur | 38 |
| 3.3.3 Pengumpulan Data | 38 |
| 3.4 Analisis Data..... | 43 |
| 3.4.1 Analisis Data SPT..... | 43 |
| 3.4.2 Analisis Data CPT | 44 |
| 3.4.3 Rekapitulasi Parameter Potensi Likuifaksi | 44 |
| 3.5 Bagan Alir Penelitian..... | 45 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 48 |
| 4.1 Pembahasan | 48 |
| 4.1.1 Data Umum..... | 48 |
| 4.1.2 Daerah Gempa Bumi..... | 50 |
| 4.1.3 Analisis Data <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)..... | 50 |
| 4.1.4 Analisis Data <i>Cone Penetration Test</i> (CPT)..... | 75 |
| 4.1.5 Analisis Data Hidrogeologi..... | 94 |

| | |
|--|------------|
| 4.1.6 Analisis Data Geologi | 96 |
| 4.1.7 Analisis Data Geologi Struktur | 97 |
| 4.1.8 Analisis Data Gempa Bumi | 98 |
| 4.1.9 Analisis Data Geolistrik | 100 |
| 4.2 Hasil | 102 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 105 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 105 |
| 5.2. Saran..... | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 107 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Tegangan Aksial Dan Angka Pori..... | 11 |
| Gambar 2.2 | Akuifer di Bawah Tanah..... | 17 |
| Gambar 2.3 | Aliran Air Pada Pori-Pori Antar Butir tanah | 17 |
| Gambar 2.4 | Peta Pembagian Air Tanah di Pulau Lombok | 21 |
| Gambar 2.5 | Konfigurasi Perlipatan Anklin dan Sinklin..... | 24 |
| Gambar 2.6 | Jenis-Jenis Sesar..... | 25 |
| Gambar 2.7 | Peta Seismitas Pulau Lombok..... | 27 |
| Gambar 2.8 | Diagram Pendukung Geolistrik Metode Schlumberger..... | 29 |
| Gambar 2.9 | Rd Versus Depth Curves Developed..... | 32 |
| Gambar 3.1 | Peta Gambar Lokasi..... | 37 |
| Gambar 3.2 | Peta Hidrogeologi Regional Pulau Lombok..... | 40 |
| Gambar 3.3 | Legenda Air Tanah Pulau Lombok..... | 40 |
| Gambar 3.4 | Peta Geologi Regional Pulau Lombok..... | 41 |
| Gambar 3.5 | Stratigrafi Pulau Lombok Bagian Selatan..... | 41 |
| Gambar 3.6 | Bagan Alir Penelitian..... | 45 |
| Gambar 4.1 | Peta lokasi penelitian | 49 |
| Gambar 4.2 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 01 B | 61 |
| Gambar 4.3 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 02 B | 63 |
| Gambar 4.4 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 03 B | 65 |
| Gambar 4.5 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 01 A | 68 |
| Gambar 4.6 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 02 A | 68 |
| Gambar 4.7 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 03 A | 69 |
| Gambar 4.8 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 01 C | 72 |
| Gambar 4.9 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 02 C..... | 75 |
| Gambar 4.10 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 01 A..... | 79 |
| Gambar 4.11 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 02 A | 80 |
| Gambar 4.12 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 03 A..... | 81 |
| Gambar 4.13 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 04 A..... | 82 |
| Gambar 4.14 | Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 05 A..... | 83 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.15 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 06 A..... | 84 |
| Gambar 4.16 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 01..... | 85 |
| Gambar 4.17 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 02..... | 86 |
| Gambar 4.18 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 03..... | 87 |
| Gambar 4.19 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 04..... | 88 |
| Gambar 4.20 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 05..... | 89 |
| Gambar 4.21 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 06..... | 90 |
| Gambar 4.22 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 07..... | 91 |
| Gambar 4.23 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 08..... | 92 |
| Gambar 4.24 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 09..... | 93 |
| Gambar 4.25 Peta Hidrogeologi Regional Pulau Lombok..... | 94 |
| Gambar 4.26 Peta Geologi Regional Pulau Lombok..... | 96 |
| Gambar 4.27 Stratigrafi Pulau Lombok Bagian Selatan..... | 96 |
| Gambar 4.28 Peta Geologi Regional Pulau Lombok..... | 97 |
| Gambar 4.29 Pola Tektonik Indonesia..... | 98 |
| Gambar 4.30 Peta Seismitas Pulau Lombok..... | 99 |
| Gambar 4.31 Statigrafi Berdasarkan Nilai Resistivitas VES 1..... | 101 |
| Gambar 4.32 Stratigrafi Berdasarkan Nilai Resistivitas VES 2..... | 101 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Rentang Ukuran Partikel | 8 |
| Tabel 2.2 Klasifikasi Butiran Tanah | 9 |
| Tabel 2.3 Satuan Wilayah dan Ciri Kandungan Air Tanah | 20 |
| Tabel 2.4 Nilai Faktor Koreksi untuk $[(N1)]_{60}$ | 33 |
| Tabel 3.1 Rekapitulasi Potensi Likuifaksi | 44 |
| Tabel 4.1 Data Standard Penetration Test (SPT)..... | 49 |
| Tabel 4.2 Data Cone penetration Test (CPT) | 50 |
| Tabel 4.3 Perhitungan CSR BH – 01 B | 60 |
| Tabel 4.4 Perhitungan CRR BH – 01 B | 60 |
| Tabel 4.5 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 01 B | 60 |
| Tabel 4.6 Perhitungan CSR BH – 02 B | 62 |
| Tabel 4.7 Perhitungan CRR BH – 02 B | 62 |
| Tabel 4.8 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 02 B | 62 |
| Tabel 4.9 Perhitungan CSR BH – 03 B | 64 |
| Tabel 4.10 Perhitungan CRR BH – 03 B | 64 |
| Tabel 4.11 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 03 B | 64 |
| Tabel 4.12 Perhitungan CSR BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A | 66 |
| Tabel 4.13 Perhitungan CRR BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A | 66 |
| Tabel 4.14 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A | 67 |
| Tabel 4.15 Perhitungan CSR BH – 01 C | 70 |
| Tabel 4.16 Perhitungan CRR BH – 01 C | 70 |
| Tabel 4.17 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 01 C | 71 |
| Tabel 4.18 Perhitungan CSR BH – 02 C | 73 |
| Tabel 4.19 Perhitungan CRR BH – 02 C | 73 |
| Tabel 4.20 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 02 C | 74 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabel 4.21 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 01 A | 79 |
| Tabel 4.22 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 02 A | 80 |
| Tabel 4.23 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 03 A | 81 |
| Tabel 4.24 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 04 A | 82 |
| Tabel 4.25 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 05 A | 83 |
| Tabel 4.26 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 06 A | 84 |
| Tabel 4.27 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 01 | 85 |
| Tabel 4.28 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 02 | 86 |
| Tabel 4.29 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 03 | 87 |
| Tabel 4.30 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 04 | 88 |
| Tabel 4.31 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 05 | 89 |
| Tabel 4.32 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 06 | 90 |
| Tabel 4.33 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 07 | 91 |
| Tabel 4.34 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 08 | 92 |
| Tabel 4.35 | Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 09 | 93 |
| Tabel 4.36 | Perhitungan PGA Pulau Lombok | 99 |
| Tabel 4.37 | Rekapitulasi Potensi Likuifaksi | 102 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|----------------|--|
| SPT | = <i>Standard Penetration Test</i> |
| CPT | = <i>Cone Penetration Test</i> |
| CSR | = <i>Cyclic Stress Ratio</i> |
| CRR | = <i>Cyclic Resistance Ratio</i> |
| qc | = Perlawanan Konus |
| SF | = <i>Safety Factor</i> |
| α_{max} | = Percepatan Permukaan Horizontal Maksimum |
| Rd | = Kerapatan Reduksi |
| σ | = Tegangan Total (kN/m^2) |
| σ' | = Tegangan Efektif (kN/m^2) |
| Cq | = Faktor Normalisasi Tahanan Ujung Konus |
| Cd | = Faktor reduksi |
| Cr | = Faktor Terkoreksi |
| CE | = Faktor Rasio Energi |
| CB | = Faktor Diameter Lubang |
| CR | = Faktor Panjang Rod |
| CS | = Faktor Metode Sampling |
| qcIN | = Nilai Tahanan Ujung Terkoreksi |
| γ_d | = Berat Volume Tanah (kN/m^3) |
| γ_w | = Berat Volume Air (kN/m^3) |
| u | = Tekanan Air Pori (kN/m^2) |
| N | = Jumlah Pukulan |
| g | = Gravitasi (m/s^2) |

ABSTRAK

Likuifaksi memiliki potensi cukup besar yang dapat menyebabkan keruntuhan struktur bangunan akibat hilangnya kestabilan tanah. Potensi likuifaksi akan dianalisis berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT) dan data pendukung lainnya yaitu data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi, dan Geolistrik di Sirkuit Internasional Mandalika yang terletak di Kawasan Ekonomi Khusus Mandalika (KEK Mandalika) di Desa Kuta, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat untuk mengetahui potensi likuifaksi.

Metode yang digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika adalah metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*) dengan perhitungan CSR dan CRR sehingga mendapatkan nilai SF menggunakan program Microsoft Excel berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) sehingga didapatkan nilai tegangan siklik atau ketahanan tanah terhadap likuifaksi, yang akan menunjukkan potensi likuifaksi di titik tersebut dan melakukan polling hasil dari analisis potensi likuifaksi berdasarkan data pendukung yaitu data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi, dan Geolistrik.

Hasil dari perhitungan analisis potensi terjadinya likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika menggunakan data SPT dan CPT didapatkan nilai SF lebih dari 1, yang artinya pada semua titik sampel pada data SPT dan CPT tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data Hidrogeologi dan data Geologi struktur juga tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data Geologi, Gempa bumi, dan Geolistrik Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi terjadi likuifaksi.

Kata Kunci: Likuifaksi, *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), *Cyclic Stress Ratio* (CSR), Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi, dan Geolistrik

ABSTRACT

Liquefaction has a considerable potential that can lead to the collapse of building structures due to the loss of soil stability. The potential for liquefaction will be analyzed based on data from the Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), and other supporting data, including Hydrogeology, Geology, Structural Geology, Earthquake, and Geoelectric data at the International Mandalika Circuit located in the Mandalika Special Economic Zone (SEZ) in the village of Kuta, Central Lombok, West Nusa Tenggara. The purpose of this analysis is to determine the potential for liquefaction in the area.

The method used to analyze the potential for liquefaction is the NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) method, employing CSR (Cyclic Stress Ratio) and CRR (Cyclic Resistance Ratio) calculations. The analysis incorporates data from various sources, including the Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), and other supporting data such as Hydrogeology, Geology, Structural Geology, Earthquake, and Geoelectric data.

The results of the analysis of the potential for liquefaction at the International Mandalika Circuit using SPT and CPT data show that the SF (Cyclic Stress Ratio) value is greater than 1. This means that at all sample points in the SPT and CPT data, there is no potential for liquefaction. Additionally, the analysis based on Hydrogeology and Structural Geology data also indicates no potential for liquefaction. However, for the analysis of the potential for liquefaction based on Geology, Earthquake, and Geoelectric data at the International Mandalika Circuit, it shows a potential for liquefaction to occur. In summary, based on the analysis results, there is no liquefaction potential at the sample points using SPT and CPT data, as well as from Hydrogeology and Structural Geology data. However, the combination of Geology, Earthquake, and Geoelectric data suggests a potential for liquefaction at the International Mandalika Circuit.

Keywords: *Liquefaction, Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), Cyclic Resistance Ratio (CRR), Cyclic Stress Ratio (CSR), Hydrogeology, Geology, Structural Geology, Earthquake, Geoelectric.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi memiliki dampak yang dapat menyebabkan kerusakan pada suatu struktur bangunan. Umumnya gempa bumi hanya merusak pada struktur bagian atas saja, namun pada kenyataannya gempa bumi juga dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bagian bawah termasuk kestabilan tanah. Resiko kegagalan pada struktur tanah memiliki dampak tanah tidak dapat mendukung atau menopang struktur bangunan di atasnya. Tanah merupakan elemen yang sangat penting dalam proses konstruksi, tanah sebagai tempat berpijaknya pondasi dan berfungsi menerima dan menahan beban dari bangunan di atasnya. Maka dari itu, kekuatan dan stabilitas dari tanah merupakan hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan suatu konstruksi. Pada setiap pembangunan akan selalu ditemukan permasalahan tanah yang berbeda-beda, dikarenakan kondisi geologi dan karakteristik tanah yang berbeda disetiap tempat.

Gempa bumi adalah bencana alam yang pernah memporak-porandakan kehidupan masyarakat Lombok. Pada pukul 18.47 WITA tanggal 29 Juli 2018 gempa bumi berkekuatan 6,4 SR melanda Pulau Lombok dengan pusat gempa berada di 47 km timur laut Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat dengan kedalaman 24 km. Agustawijaya dkk (2018) menemukan bahwa seismik gempa di Pulau Lombok tergolong tinggi. Pulau Lombok terletak di wilayah Nusa Tenggara yang merupakan salah satu bagian seismik paling aktif di Indonesia, dimana Lempeng Benua Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia (Hamilton, 1974, 1979).

Salah satu permasalahan yang ditimbulkan gempa bumi adalah bahaya likuifaksi. Likuifaksi merupakan fenomena yang terjadi pada tanah jenuh atau agak jenuh yang kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat adanya getaran yang disebabkan oleh gempa bumi. Selama terjadi gempa bumi, pori – pori tanah terisi penuh air, sehingga menyebabkan gaya kontak antar butiran tanah menjadi menghilang dan tanah kehilangan kuat gesernya sehingga tanah lebih berperilaku sebagai cairan daripada padatan. Likuifaksi memiliki potensi cukup besar yang dapat menyebabkan keruntuhan struktur

bangunan akibat hilangnya kestabilan tanah (Kusumawardani, 2016). Hal ini tentu sangat berbahaya untuk struktur bangunan yang berada di atasnya.

Analisis potensi likuifaksi perlu dilakukan sebagai bahan pertimbangan bagi perencana konstruksi untuk dapat memastikan bahwa struktur bangunan yang akan dibangun aman dari potensi likuifaksi. Pada pengujian lapangan data yang dapat dipakai yaitu *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Pengujian dan analisa terhadap *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) pada lokasi tanah yang sama diharapkan dapat mengetahui potensi likuifaksi pada daerah Sirkuit Internasional Mandalika.

Sirkuit Internasional Mandalika secara resmi bernama Pertamina Mandalika *International Street Circuit* merupakan salah satu sektor pariwisata yang terletak di Kawasan Ekonomi Khusus Mandalika (KEK Mandalika) di Desa Kuta, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Sirkuit International Mandalika ini memiliki panjang 4.301 km dengan 17 tikungan, dan memiliki kapasitas 50.000 tempat duduk di tribun dengan total mencapai 195.700 orang. Bangunan *Pit Building* Sirkuit Internasional Mandalika memiliki tiga lantai dengan kapasitas 50 garasi. Sirkuit Internasional Mandalika juga memiliki bangunan pusat medis modular yang berjarak 100 meter dari *race control*.

Berdasarkan peta geologi Pulau Lombok, Sirkuit International Mandalika memiliki formasi Penggulung yang terdiri dari breksi lava, tuff, dengan lensa batu gamping yang mengandung mineral sulfida yang berpotensi terjadinya likuifaksi. Potensi likuifaksi pada daerah Sirkuit Internasional Mandalika akan di analisis berdasarkan data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi, dan Geolistrik. Adapaun metode yang akan digunakan untuk menganalisis potensi terjadinya likuifaksi di Sirkuit International Mandalika yaitu berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Seed and Idris berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Berdasarkan 8 titik pengeboran dan 15 titik pengujian sondir, diperoleh variasi nilai konus untuk masing-masing lapisan tanah dan lapisan tanah tersebut adalah tanah asli yang belum mengalami perbaikan atau perkuatan tanah.

Faktor seismik yang diberikan pada lapisan tanah oleh kekuatan gempa bumi tertentu, akan didapatkan dalam perhitungan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan CSR

(*Cyclic Stress Ratio*) sehingga didapatkan nilai tegangan siklik atau ketahanan tanah terhadap likuifaksi, yang akan menunjukkan potensi likuifaksi di titik tersebut.

Berdasarkan permasalahan diatas, penulis bermaksud untuk melakukan studi mengenai “**Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT di Sirkuit Internasional Mandalika**” Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu acuan atau informasi tambahan tentang kemungkinan besar terjadinya likuifaksi, sehingga mengetahui aman atau tidaknya insfrastruktur yang telah dan akan dibangun pada daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang telah dibahas, maka rumusan masalah dalam studi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana potensi likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika dengan menggunakan data SPT dan CPT?
2. Bagaimana potensi likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika dengan data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi dan Geolistrik?
3. Bagaimana perbandingan nilai keamanan tanah terhadap likuifaksi menggunakan data SPT dan CPT?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan data tanah pada 8 titik pengeboran dan 15 titik pengujian sondir di Sirkuit Internasional Mandalika
2. Analisis potensi likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika dilakukan dengan perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) di Sirkuit Internasional Mandalika
3. Menggunakan faktor gempa dari Daerah Gempa Bumi Nusa Tenggara Menurut Hamilton, 1974
4. Menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) sebanyak 8 titik , dan menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT) sebanyak 15 titik

5. Menggunakan data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi dan Geolistrik
6. Perhitungan dilakukan dengan program Excel.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis potensi likuifaksi di daerah Sirkuit Internasional Mandalika dengan data SPT dan CPT
2. Menganalisis potensi likuifaksi di daerah Sirkuit Internasional Mandalika dengan data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi dan Geolistrik

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Sebagai referensi untuk meningkatkan pengetahuan tentang likuifaksi dalam bidang Geoteknik
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di Sirkuit Internasional Mandalika

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Hasbi (2021) melakukan perhitungan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan CSR (*Cryclic Stress Ratio*) sehingga didapatkan nilai tegangan *cyclic* atau ketahanan tanah likuifaksi, dimana hasil dari nilai tersebut akan di bandingkan dengan nilai SF (*Safety Factor*). Objek pada penelitian ini melalui penyelidikan tanah dengan jenis lempung berpasir yang berpotensi terjadi likuifaksi dan tsunami pada daerah proyek KA bandara New International Yogyakarta Airport (NYIA). Hasil klasifikasi tanah metode USCS menunjukkan persen lolos saringan no. 200 kurang dari 50% dari saringan tersebut dikelompokkan menjadi SC (pasir berlempung). Perhitungan analisis data SPT didapatkan nilai CRR dan CSR yang berada di titik pengujian dengan kedalaman bervariasi dengan nilai SF 0,1 sampai 0,9 dimana nilai SF kurang dari 1 artinya berpotensi likuifaksi dan pada kedalaman tertentu nilai faktor koreksi pada setiap titik dengan nilai analisis $<37,5$ yang berarti perlu perbaikan tanah untuk dapat menahan beban seismic saat terjadinya gempa bumi. Perhitungan data CPT bahwa nilai CRR dan CSR di seluruh titik di kedalaman 1 sampai 12,6 m dengan nilai SF 0,01 sampai 0,4 memiliki nilai FS kurang dari 1, menunjukkan potensi likuifaksi yang tidak dapat menahan beban seismic saat gempa bumi.

Pramana (2015) melakukan analisis potensi likuifaksi pada daerah Kawasan Benoa, Denpasar menggunakan metode yang dikembangkan oleh I.M Idriss dan Boulanger (2008) dengan menggunakan data SPT dan CPT untuk mendapatkan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yang akan dibandingkan dengan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dan menghasilkan nilai FS (*Factor Safety*).

Adapun Objek pada penelitian ini melalui penyelidikan tanah yang jenuh air kehilangan daya dukungnya akibat terjadinya gempa bumi, yang dimana kondisi tanah tersebut, dapat ditemui pada kawasan Benoa, Denpasar. Data – data SPT dan CPT. Hasil dari analisis potensi likuifaksi adalah berupa stratigrafi lapisan tanah yang dapat menunjukkan dengan jelas lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi atau tidak. Dari hasil analisa potensi likuifaksi di kawasan Benoa didapatkan FS baik menggunakan

data SPT maupun CPT menunjukkan tanah memiliki potensi likuifaksi. Nilai FS menggunakan data SPT menunjukkan semua lokasi pengujian berpotensi likuifaksi dengan kedalaman yang bervariasi dengan nilai FS berkisar 0.4 – 0.8. Nilai FS menggunakan data CPT menunjukkan semua lokasi pengujian berpotensi likuifaksi dengan kedalaman 1 sampai dengan 12 meter dengan nilai FS berkisar 0.3 – 0.7. Mentari (2016) dengan judul penelitian potensi likuifaksi berdasarkan data CPT dan SPT di sekitaran jalan raya Yogya-Solo Yogyakarta, tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis potensi terjadinya likuifaksi menggunakan metode perbandingan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang kemudian didapatkan nilai *Factor of Safety* (FS), dimana FS merupakan nilai pegangan untuk menentukan suatu lokasi berpotensi terjadi likuifaksi atau tidak. Likuifaksi terjadi ketika nilai FS kurang dari satu. Objek pada penelitian ini merupakan tanah yang ada pada lokasi sekitar jalan raya Jogja-Solo yaitu pada proyek Jogja one Park, Greenpark Jogja Apartment and Resort, serta Ambarukmo Office dengan menggunakan data CPT dan SPT. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu pada lokasi yang ditinjau penulis terdapat perbedaan pada nilai CRR antara data CPT dan SPT dimana CRR dari data CPT lebih besar dibandingkan dengan CRR dari data SPT. Hal ini akan berpengaruh pula pada nilai FS yang berbeda dari kedua data tersebut. Dari tiga lokasi yang ditinjau, nilai FS yang didapat bernilai lebih dari satu. Artinya pada lokasi tersebut tidak berpotensi terjadi likuifaksi.

Lestari (2018) dengan judul penelitian Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT (*Standar Penetration Test*) dan CPT (*Cone Penetration Test*) Studi Kasus Pembangunan New Yogyakarta International Airport (NYIA) di Kulon Progo, Desa Glagah dan Desa Palihan. Objek pada penelitian ini di daerah pembangunan New Yogyakarta International Airpost (NYIA) dengan klasifikasi tanah yang dikelompokkan menjadi SM yaitu pasir berlanau dan campuran pasir-lanau. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu potensi likuifaksi pada lokasi proyek New Yogyakarta International Airport di Kulon Progo tersebut didapatkan semua titik yang ditinjau mempunyai nilai FS kurang dari satu yang artinya tanah memiliki kerentanan terhadap potensi likuifaksi. Untuk perhitungan berdasarkan data pengujian CPT dan data pengujian SPT pada masing-masing 10 titik yang tersebar zona likuifaksi berada pada kedalaman yang bervariasi berkisar 2 meter hingga 10 meter.

Roesli (2018) dengan judul penelitiannya Analisis Potensi Likuifaksi Studi Khusus Padang dan Jakarta dengan menggunakan 3 metode sesuai dengan data yang dibutuhkan, yaitu berdasarkan data laboratorium – metode Bray, berdasarkan data CPT – metode Seed dan Alba dan metode Shibata dan Teparaksa, berdasarkan data SPT – metode Seed et al. dan metode Youd dan Idriss. Adapun objek pada penelitian ini yaitu dengan menganalisis potensi likuifaksi pada tanah kelanauan, yang dimana Kota Padang didominasi oleh pasir lepas, lanau lepas, hingga lempung lunak. Kondisi tanah pada lokasi studi di Menteng, Jakarta Pusat didominasi oleh lanau dan lempung. Hasilnya menunjukkan bahwa Kota Padang memiliki kerentanan yang tinggi terhadap peristiwa likuifaksi karena nilai indeks potensi likuifaksi yang dihasilkan didominasi antara rentang $5 < LPI < 15$, sedangkan kota Jakarta memiliki kerentanan yang rendah terhadap peristiwa likuifaksi karena semua nilai LPI berada pada rentang $0 < LPI < 5$.

Adawiyah (2008) dengan judul penelitian Pola Wilayah Bahaya Likuifaksi Di Provinsi D.I.Yogyakarta dengan mengungkapkan kaitan kejadian likuifaksi dengan geologi dan indeks keburukan likuifaksi serta pola wilayah bahaya likuifaksi di Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan special (keruangan). Dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh titik kejadian likuifaksi dijumpai pada jarak kurang dari enam kilometer dari sesar utama dan sesar minor. Adapun wilayah bahaya likuifaksi dibagi menjadi 3 kelompok yaitu wilayah bahaya likuifaksi sangat tidak aman, tidak aman, dan wilayah aman.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Karakteristik Tanah

Pada umumnya, jenis tanah terdiri dari campuran berbagai rentang ukuran dan biasanya lebih dari dua rentang ukuran. Namun partikel yang berukuran lempung tidak selalu merupakan mineral lempung, bubuk batu yang paling halus mungkin berukuran partikel lempung. Jika mineral lempung terdapat pada suatu tanah, biasanya akan dapat mempengaruhi sifat tanah tersebut, meskipun persentasenya tidak terlalu besar.

Tanah disebut kohesif bila partikel – partikelnya yang saling melekat setelah membasahi, kemudian dikeringkan maka diperlukan gaya yang cukup besar untuk meremas tanah tersebut, ini tidak termasuk tanah yang partikel – partikelnya saling

melekat ketika dibasahi akibat tegangan permukaan. Rentang ukuran partikel pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Rentang Ukuran Partikel

| Lempung | Lanau | | | Pasir | | | Kerikil | | | Cobbles | Boulders |
|---------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|----------|
| | Halus | Medium | Kasar | Halus | Medium | Kasar | Halus | Medium | Kasar | | |
| 0,001 | 0,002 | 0,005 | 0,02 | 0,06 | 0,2 | 0,6 | 2 | 6 | 20 | 60 | 200 |
| | 0,01 | | | 0,1 | | 1 | | 10 | | 100 | |

Ukuran partikel (mm)

(Sumber: Craig, 1991)

Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir kasar (*coarse grained*). Sebaliknya, bila partikelnya kebanyakan berukuran partikel lempung dan lanau, disebut tanah berbutir halus (*fine grained*).

Tanah yang berukuran butir kasar terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir, sebaliknya ukuran butir halus partikelnya kebanyakan berukuran lempung dan lanau dapat disebut dengan tanah dengan butiran halus Lestari (2018). Ukuran butiran tanah tergantung pada diameter partikel tanah yang membentuk masa tanah itu. Secara visual, fraksi tanah berbutir kasar dapat dikenali secara langsung mengingat ukurannya yang besar. Material tanah berbutir kasar paling banyak digunakan dalam konstruksi karena sifat-sifatnya yang menguntungkan.

Hardiyatma (2014) selain sifat fraksinya tanah juga mempunyai beberapa jenis yang terdiri dari banyaknya campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya, adapun tanah lempung bukan berarti hanya terdiri tanah lempung saja di dalamnya tetapi terdapat juga pasir, lanau dan bahan campuran *organic* lainnya. Ukuran dapat bervariasi dari 100 mm sampai dengan lebih kecil 0,001 mm.

1. Kerikil (*gravel*), yaitu kepingan bantuan yang kadang juga partikel mineral *quartz* dan *feldspar*
2. Pasir (*Sand*), yaitu sebagian besar mineral *quartz, feldspar*
3. Lanau (*Silt*), yaitu sebagian besar fraksi *mikroskopis* (yang berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan dari pecahan-pecahan mika

4. Lempung (*clay*), yaitu sebagian besar terdiri dari partikel *mikroskopis* (yang berukuran sangat kecil) dan *sub-mikroskopis* (tidak dapat dilihat, hanya dengan mikroskop). Berukuran lebih kecil dari 0,002 mm (2 *micron*).

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm. Klasifikasi butiran tanah menurut *Unified*, *ASTM*, *MIT*, *Nomenclature* dan *International Nomenclature* berdasarkan ukuran butiran dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi Butiran Tanah

| | 1,7 mm | 0,38 | 0,075 | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------|-------------|-----------------------------------|--------|-------|---------|--------|------------------|--------|--------------|
| Unified Class system | kasar | sedang | halus | Butiran halus (lanau dan lempung) | | | | | | | |
| | pasir | | | | | | | | | | |
| ASTM | 2,0 mm | 0,42 | 0,075 | 0,005 | 0,001 | | | | | | |
| | pasir sedang | | pasir halus | | Lanau | | Lempung | | Lempung koloidal | | |
| MIT nomenclatur | 2,0 mm | 0,6 | 0,2 | 0,06 | 0,02 | 0,006 | 0,002 | 0,0006 | 0,0002 mm | | |
| | kasar | sedang | halus | kasar | sedang | halus | kasar | sedang | halus | | |
| | pasir | | | Lanau | | | Lempung | | | | |
| International nomenclatur | 2,0 mm | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,006 | 0,002 | 0,0006 | 0,0002 mm |
| | sangat kasar | kasar | sedang | halus | kasar | halus | kasar | halus | kasar | halus | sangat halus |
| | pasir | | | | Mo | | Lanau | | Lempung | | |

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Selain klasifikasi ukuran butiran juga bisa memakai grafik size ukuran butiran yang dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda, 13 diameter dalam grafik size distribusi ukuran butiran yang bersesuaian dengan persen lolos 10%, 30%, serta 60%, serta koefisien keseragaman dan koefisien gradasi dapat didefinisikan dengan persamaan 2.1 dan 2.2 berikut.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

C_u = Koefisien keseragaman

C_c = Koefisien gradasi

D_{30} = Diameter 30% lolos ayakan yang ditentukan dari grafik distribusi ukuran butiran, dan

D_{60} = Diameter 60% lolos ayakan yang ditentukan dari grafik distribusi ukuran butiran,

Makin tinggi nilai C_u (Koefisien keseragaman), makin besar rentang distribusi partikel tanah. Tanah bergradasi baik biasanya memiliki C_c (Koefisien gradasi) sekitar 1 sampai 3.

Sedangkan untuk mencari nilai tegangan total pada persamaan 2.3, perlu mengetahui nilai dari tekanan air pori pada persamaan 2.4 serta nilai dari tegangan efektifnya pada persamaan 2.5, dapat dilihat sebagai berikut.

$$\sigma = h \times \gamma \quad (2.3)$$

$$u = h_w \times \gamma_w \quad (2.4)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.5)$$

Keterangan:

σ = Tegangan total (kN/m^2)

h = Jarak dari permukaan tanah ke titik atau kedalaman yang ditinjau (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

u = Tekanan air pori (kN/m^2)

σ' = Tegangan efektif (kN/m^2)

h_w = Tinggi muka air diukur dari permukaan tanah (m)

γ_w = Berat volume air (kN/m^3)

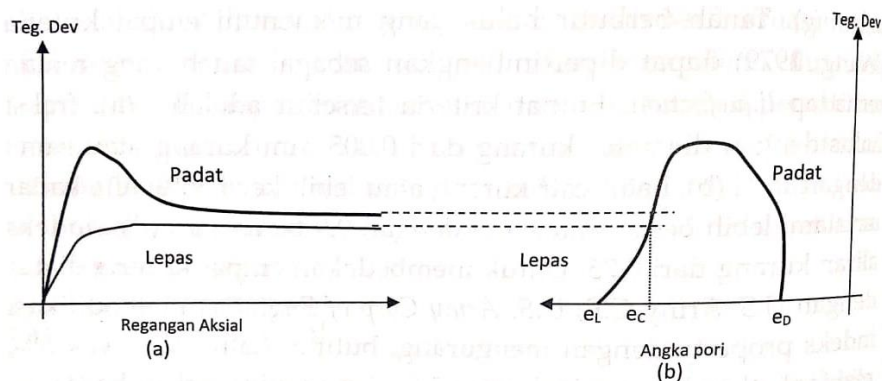
2.2.2 Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena dimana kekuatan tanah berkurang dikarenakan adanya getaran yang disebabkan oleh gempa bumi atau pergerakan tanah lainnya, yang mengakibatkan tanah tersebut berdeformasi dari solid menjadi cair (*Liquefied*). Dalam hal ini, tanah yang mengalami likuifaksi adalah tanah non-koheusif yang tersaturasi (celah – celah partikelnya terisi oleh air). Kandungan air tersebut akan memberikan tekanan pada partikel tanah sehingga menyebabkan hilangnya ikatan pada partikel – partikel tanah tersebut. Sebelum terjadi gempa tekanan air pori relatif rendah, namun guncangan dari gempa dapat memicu kenaikan tekanan air dalam tanah sampai pada titik dimana partikel – partikel tanah dapat saling bergerak atau kehilangan ikatannya.

Beban yang bekerja merupakan beban siklik yang umumnya diakibatkan oleh gempa bumi. Pada saat beban gempa bekerja dalam kondisi *undrained* sedangkan tanah berjenis pasir berada dalam kondisi tersaturasi, maka tegangan air pori akan naik, sehingga tanah tersebut akan kehilangan kekuatannya atau dalam kondisi extreme kekuatan gesernya dapat mencapai nol.

Sebelum adanya getaran akibat gempa bumi tekanan air pada tanah *relative* rendah, namun setelah terjadinya gempa bumi tekanan air pada tanah tersebut akan meningkat karena pori-pori pada tanah akan penuh terisi air, yang dimana dapat meningkatkan pergerakan partikel pada tanah dengan mudah.

(Hatmoko, 2020) pasir lepas akan mengalami kontraksi atau pengurangan angka pori, sedangkan pasir padat akan mengembang atau mengalami peningkatan angka pori pada saat menerima getaran. Pada saat regangan besar terjadi, pasir lepas dan pasir padat mencapai angka pori kritis dan mobilitas regangan besar Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tegangan aksial dan angka pori (Hatmoko,2020)

Tanah yang mengalami likuifaksi tekanannya lebih tinggi pada dinding penahan yang dapat menyebabkan struktur tersebut menjadi miring atau geser. Gerakan ini dapat menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) dan kerusakan struktur pada permukaan tanah. Secara visual peristiwa likuifaksi ini ditandai dengan munculnya lumpur pasir pada permukaan tanah berupa semburan pasir (*sand boil*), rembesan air melalui rekahan tanah, atau bisa juga dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan. Proses ini dapat menyebabkan bangunan rusak, retak maupun runtuh, kerusakan bangunan akibat likuifaksi ini dikatakan sebagai kegagalan tanah.

Tercatat bahwa likuifaksi sebagai akibat dari gempa bumi telah banyak terjadi di seluruh dunia. Beberapa diantaranya adalah gempa Alaska, AS (1964), Niigata, Jepang (1964) dan Kobe, Jepang (1995), dan baru-baru ini terjadi di Indonesia yakni di Palu (2018).

2.2.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Likuifaksi

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya likuifaksi :

1. Kepadatan Tanah

Kepadatan dari tanah pasir dapat dinyatakan dengan nilai *relative density* (D_r). Semakin besar nilai D_r maka semakin besar tahananannya terhadap likuifaksi. Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah yang bergradasi seragam (*uniformly graded soil*). Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuifaksi lebih besar dibandingkan dengan tanah yang bergradasi jelek (*poor graded soil*)

2. Umur dari Deposit

Semakin tua umur dari deposit tersebut maka semakin besar tahananannya terhadap bahaya likuifaksi. Hal ini disebabkan karena adanya proses sementasi (*cementation*) antar partikel. Tahanan terhadap likuifaksi akan meningkat dengan meningkatnya tegangan efektif. Sebagai akibatnya suatu daerah dimana air mukanya tinggi atau dekat ke permukaan akan lebih mudah mengalami proses likuifaksi dibandingkan dengan daerah dimana muka air terdapat pada posisi yang cukup dalam dari permukaan.

3. Gradasi Partikel

Tanah dengan partikel yang berbentuk bundar akan lebih mudah mengalami proses likuifaksi dibandingkan dengan tanah yang partikelnya bersudut. Hal ini disebabkan tanah dengan partikel bundar lebih mudah untuk dipadatkan.

4. Tekanan Kekang

Potensi likuifaksi tanah menurun dengan meningkatnya tekanan kekang (*confining pressure*). Sejumlah uji laboratorium menunjukkan bahwa dibutuhkan tegangan yang besar dengan meningkatnya tekanan batas untuk menyebabkan terjadinya likuifaksi pada kondisi pembebanan ulang alik di laboratorium

5. Intensitas gempa (*the intensity ground shaking*)

Tingkat kerentanan suatu deposit tanah mengalami likuifaksi juga tergantung kepada magnitudo tegangan dan regangan yang diinduksikan oleh gempa bumi yang berhubungan dengan intensitas gempa bumi

6. Durasi gempa (*duration of ground shaking*)

Durasi gempa merupakan faktor penting untuk menentukan potensi likuifaksi tanah, karena faktor ini menentukan jumlah ulang alik tegangan yang diberikan terhadap tanah untuk menyebabkan likuifaksi pada kondisi pembebanan ulang alik (*cycling loading*) di laboratorium.

Menurut Hatmoko (2020) potensi likuifaksi akibat adanya gempa bumi pada suatu titik dengan kedalaman tertentu, pada dasarnya dapat ditentukan dari kombinasi sifat-sifat tanah, faktor lingkungan dan karakteristik gempa yang antara lain dapat disebutkan sebagai berikut:

1. Sifat-sifat Tanah

Dalam kombinasi sifat-sifat dari tanah terdapat faktor modulus geser dinamik (*dynamics shear modulus*), kedalaman gempa bumi, karakteristik butiran tanah pasir, dan kepadatan relative tanah.

2. Faktor Lingkungan

Kombinasi lingkungan meliputi proses pembentukan tanah, sejarah geologi dari lokasi penelitian. koefisien tekanan tanah lateral, kedalaman muka air tanah, dan tegangan keliling.

3. Karakteristik Gempa

Sedangkan dalam kombinasi karakteristik gempa terdapat beberapa faktor terjadinya likuifaksi, diantaranya intensitas getaran, lama getaran gempa, dan besarnya arah getaran.

2.2.4 Bahaya yang Disebabkan Oleh Peristiwa Likuifaksi

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah berpasir dan terendam air, sehingga kedalaman muka air tanah sangat mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi, oleh karena itu dampak dari likuifaksi hanya dapat diamati pada area yang dekat dengan badan air seperti sungai, danau, dan laut.

Tanah yang mengalami likuifaksi tekanannya lebih tinggi pada dinding penahan yang dapat menyebabkan struktur bangunan tersebut menjadi miring atau geser, dan mengalami kerusakan kerusakan bangunan akibat likuifaksi ini dikatakan sebagai kegagalan tanah. Gerakan ini dapat menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) dan kerusakan struktur pada permukaan tanah. Secara visual peristiwa likuifaksi ini ditandai dengan munculnya lumpur pasir pada permukaan tanah berupa semburan pasir, rembesan air melalui rekahan tanah, atau bisa juga dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan.

2.2.5 Standar penetration test (SPT)

Standar penetration test (SPT) merupakan metode uji tanah yang dilakukan dilapangan atau lokasi pekerjaan yang bertujuan untuk mengetahui sifat rekayasa geoteknik tanah bawah permukaan, terutama untuk tanah kohesi atau untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung. *Standar penetration test* (SPT) dilakukan bersamaan dengan pengeboran, baik untuk mengetahui sifat perlawanan dinamik tanah yang sekaligus melakukan pengambilan sapel tanah UDS (Undisturbed Sample) dengan teknik penumbukan.

Selain itu uji *Standar penetration test* (SPT) merupakan percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan faktor koreksi hammer (ER) 0,5 – 1,0, faktor koreksi lubang bor 1 mm, faktor koreksi panjang batang 0,75 dan faktor koreksi sampler (Cs) yaitu 1. Tabung sampel yang berdiameter dalam 1in dengan menggunakan masa pendorong (palu) seberat 60 kg yang jatuh bebas dari ketinggian tertentu.

Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel yang dinyatakan sebagai nilai N.

Adapun keuntungan dan kekurangan dari penggunaan test ini adalah menurut Hardiyatmo, H.C. 2002. Dalam Girsang, P, 2009:

Keuntungannya:

- a. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah secara visual,
- b. Dapat digunakan untuk mendapatkan parameter secara kualitatif melalui korelasi empiris,
- c. Test ini dapat dilakukan dengan cepat dan operasinya sederhana,
- d. Biasanya yang digunakan relative murah,
- e. Prosedur pengujian sederhana dapat dilakukan secara manual,
- f. Dapat digunakan pada sembarang jenis tanah dan batuan lunak,
- g. Sampel tanah terganggu dapat diperoleh untuk identifikasi jenis tanah,
- h. Uji SPT pada pasir, hasilnya dapat langsung digunakan untuk memprediksi kerapatan relative dan kapasitas daya dukung tanah.

Kekurangannya menurut Hardiyatmo, H.C. 2002. Dalam Girsang, P. 2009 :

- a. Profil kekuatan tanah tidak menerus,
- b. Perlu ketelitian dalam pelaksanaan test ini,
- c. Hasil yang didapat merupakan contoh tanah terganggu,
- d. Interpretasi hasil SPT bersifat empiris,
- e. Ketergantungan pada operator dalam menghitung,
- f. Nilai N yang diperoleh merupakan data sangat kasar bila digunakan tanah lempung.

2.2.6 Cone penetration test (CPT)

Sondir atau *Cone Penetrometer Test (CPT)* adalah suatu uji dengan melakukan penetrasi konus ke dalam tanah yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah tiap kedalaman tertentu berdasarkan parameter-parameter perlawanan tanah terhadap ujung konus dan hambatan akibat lekatan tanah dengan selubung konus.

Pengujian sondir atau metode *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan pengujian secara statis yang menggunakan sebuah kerucut (konus) pada ujung stang yang ditekan langsung ke dalam tanah. Untuk menekan kerucut dan mengukur gaya menggunakan dongkrak mekanik dengan kecepatan yang teratur. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kuat dukung tanah yaitu dengan cara menghitung nilai perlawanan penetrasi konus (q_c) dan perlawanan lekat (f_s). Perlawanan penetrasi konus ini adalah perlawanan tanah terhadap ujung kerucut yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas (q_c).

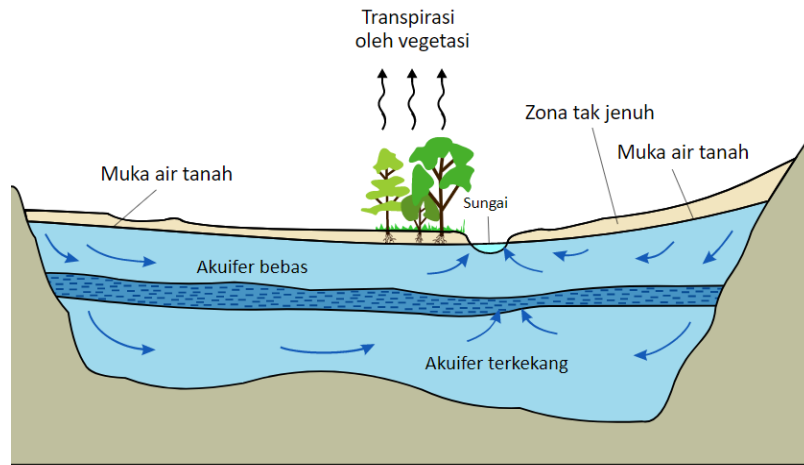
2.2.7 Hidrogeologi





Hidrogeologi merupakan ilmu yang mempelajari air yang berada di dalam tanah (*ground water*/muka air tanah). Air tanah merupakan air yang terdapat di bawah permukaan bumi yang berasal dari air hujan yang tersimpan pada rongga-rongga (*porosity/intencites*) batuan atau rongga tanah jenuh yang beregerak.

2.2.7.1 Batuan Sebagai Media Penghantar Air Tanah.

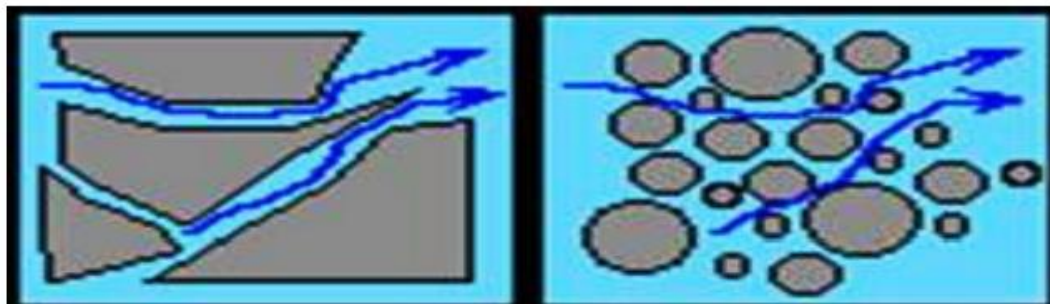
Batuan yang mengandung air akan mempunyai daya hantar lebih tinggi dibandingkan dengan batuan yang tidak mengandung air. Pendugaan air tanah akan menghasilkan data-data nilai tahanan jenis dari akuifer-akuifer. Dengan demikian sistem air tanah akan dapat dianalisis berdasarkan akuifer-akuifer tersebut.

Akuifer adalah Lapisan bawah tanah yang mengandung air dan mampu mengalirkan air. Hal ini disebabkan karena lapisan tersebut bersifat permeable yang mampu mengalirkan air baik karena adanya pori-pori pada lapisan tersebut ataupun memang sifat dari lapisan batuan tertentu. Contoh batuan pada lapisan akuifer adalah pasir, kerikil, batu pasir, batu gamping rekahan. Akuifer dan aliran air pada pori-pori ditunjukkan oleh Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



-  Akuifer (konduktivitas hidrolik tinggi)
-  Lapisan pengekang (konduktivitas hidrolik rendah)
-  Batuan dasar (konduktivitas hidrolik sangat rendah)
-  Arah aliran air tanah

Gambar 2.2 Akuifer di bawah tanah (Shiddiqy, 2014)



Gambar 2.3 Aliran air pada pori-pori antar butir tanah (Shiddiqy, 2014)

Diperkirakan air yang ada di bumi sebanyak $1.3 - 1.4 \times 10^6 \text{ km}^3$, jumlah tersebut sebagian besar merupakan air laut yaitu 97% dan sisanya sebanyak 3% berupa air tawar, (Soemarto, 1987).

Terbentuknya air tanah sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

1. Intensitas Curah Hujan

Semakin besar intensitas curah hujan maka pengisian air tanah (*recharge*) semakin besar

2. Aliran Permukaan Tanah

Infiltrasi pada daerah yang datar lebih besar dari tanah yang bergelombang, karena pada tanah yang datar kecepatan *runoff* menjadi rendah sehingga memungkinkan infiltrasi lebih sempurna

3. Porositas Tanah

Semakin besar porositas tanah maka kandungan air tanah semakin besar

4. Permeabilitas

5. Struktur tanah dan batuan, terutama sekali fracture, stratigrafi dan lapisan permeable dan lapisan impermeabel yang menyusun suatu daerah

6. Vegetasi

7. Kelembaban

Kelembaban yang rendah akan mengakibatkan sebagian besar air hujan akan berevaporasi sebelum meresap kedalam tanah.

2.2.7.2 Jenis Batuan Penghantar Air Tanah

Air yang berada dalam lapisan tanah atau batuan umumnya terbentuk dalam 3 (tiga) kondisi. Pertama, air presipitasi dari atmosfer dalam bentuk hujan. Kedua, air *connate* yaitu air yang terperangkap dalam rongga-rongga batuan sedimen pada saat diendapkan. Air ini dapat berasal dari air laut maupun air tawar dan mengandung mineral tinggi, karena sebagian besar masa sedimen diendapkan pada daerah pantai, maka air connate merupakan air asin. Terakhir adalah, air *juvenile* yaitu air yang berasal dari proses magmatik gunungapi yang bercampur dengan air terestrik.

Jenis litologi batuan seperti di bahas diatas mencerminkan ciri kandungan air di dalamnya, khususnya dalam hal fungsi sebagai media penghantar air. Sifat masing-masing batuan sangat bervariasi, dari yang sangat baik sebagai media penghantar sampai yang bersifat kedap air. Bersifat sebagai media penghantar air yang baik misalnya batuan

vulkanik atau sedimen lepas yang tak termampatkan seperti tufa batu apung (Formasi Lokopiko) atau batuan sedimen alluvium.

Batuan yang berfungsi sebagai bukan media penghantar air yang baik adalah batuan padu akibat terjadinya proses pemampatan seperti batuan breksi dari Formasi Kalibabak atau breksi dari Formasi Kalipalung serta batuan pejal lainnya seperti batuan lava dan batuan gamping. Dalam hal batuan yang lebih tua umurnya, seperti dari batuan Formasi Kawangan dan Formasi pengulung yang berumur tersier, umumnya pemampatan telah berjalan lanjut sehingga bukanlah sebagai media penghantar air yang baik. Sekalipun demikian dalam kondisi tertentu karena terjadinya sistem rekahan atau retakan, jenis batuan padu seperti breksi, lava atau batu pasir dapat bertindak sebagai penghantar air.

Demikian pula dengan jenis batugamping (Formasi Ekas) yang pada dasarnya kedap air, dapat berubah menjadi media penghantar air yang cukup baik apabila dalam formasi tersebut ditemukan sistem perkekaratan atau peronggaan akibat terjadinya proses pengendapan.

2.2.7.3 Penyebaran Air Tanah

Dengan memperhatikan kondisi geologi, berikut ciri kandungan air dari setiap batuan yang menyusunnya serta bentuk medan dan pola pengaliran airnya, maka keterdapatan dan penyebaran air tanah di Pulau Lombok dapat dibedakan menjadi 3 wilayah air tanah (Gambar 2.4), yaitu:

- a. Wilayah air tanah pegunungan selatan,
- b. Wilayah air tanah gunungapi,
- c. Wilayah air tanah daratan perbukitan.

Adapaun gambaran tentang ketersediaan dan penyebaran air tanah pada masing-masing wilayah air tanah tersebut disajikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Satuan Wilayah dan Ciri Kandungan Air Tanah

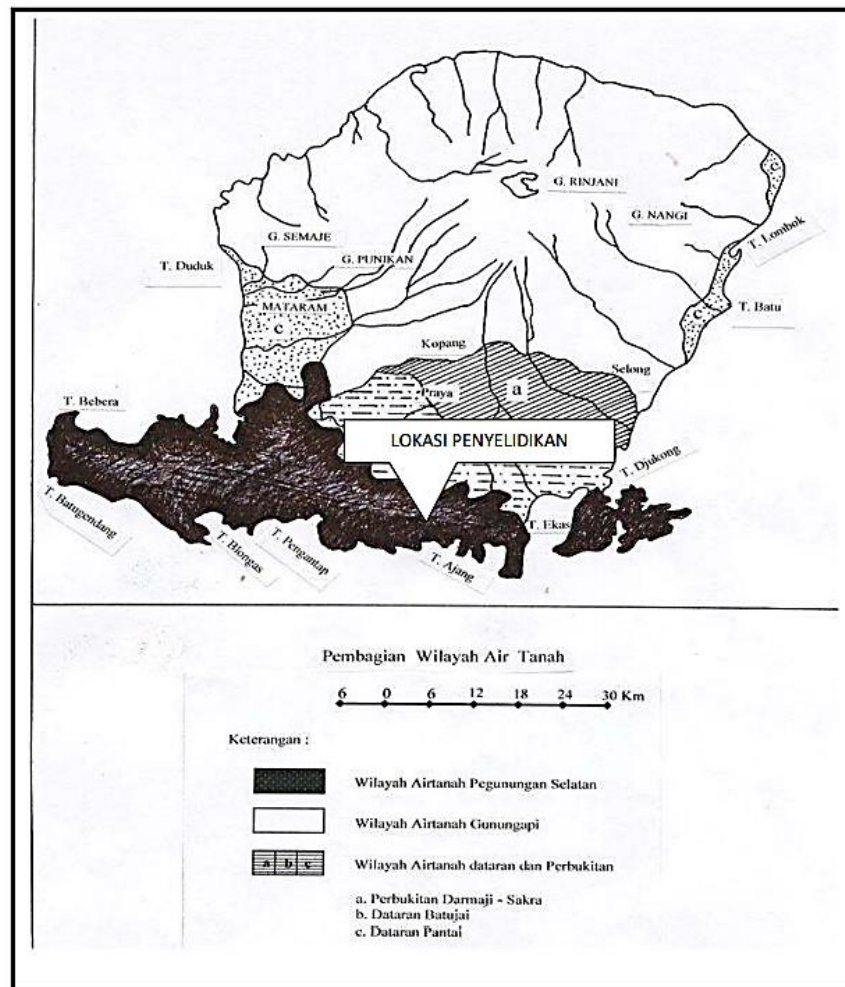
| Satuan Wilayah Air Tanah | Satuan dan Deskripsi Litologi | Ciri Kandungan Air Tanah |
|----------------------------------|--|---|
| Daratan pantai dan lembah sungai | Endapan alluvium berupa batuan lepas yang diendapkan oleh beberapa sungai yang mengalir didalamnya | Daya hantar sedang sampai besar dan muka air tanah dangkal. Penggaraman air tanah terjadi di daerah dekat pantai air tanahnya cukup hingga besar |
| Pegunungan utara | Batuan vulkanik hasil kegiatan Gunung Rinjani a. Bagian puncak: Batuan lepas pasir kerikil dan leleran lava | Daya hantar air kecil sampai dengan besar, merupakan daerah pengaliran air permukaan |
| | b. Bagian tubuh Bahan batu pasir mengandung batu apung dan leleran lava | Daya hantar air sedang sampai besar, paras air tanah dalam merupakan daerah peresapan dan permunculan mata air, terdapat pada lereng selatan Gunung Rinjani |
| | c. Bagian kiri Breksi lahar dengan penutup tufa batu apung dan leleran lava | Daya hantar air bervariasi dari kecil hingga besar dan paras air tanah dalam, setempat dangkal dan merupakan daerah akumulasi air tanah atau pengaliran air tanah menuju laut |
| Dataran dan perbukitan tengah | Batuan breksi dari hasil kegiatan gunung rinjani purba yang dipisahkan menjadi breksi Mantang dan breksi Penujak. Pelapukan insitu batuan breksi ini menghasilkan tanah lempung ontmorolinit atau tanah liat | Daya hantar kecil, Penyaluran permukaan lamban dan di eberapa tempat terjadi proses penguapan yang tinggi dan pengaliran air bawah tanah yang lamban, potensi air tanah kecil |

(Sumber: Agustawijaya 2022)

Tabel 2.3 Satuan Wilayah dan Ciri Kandungan Air Tanah (Lanjutan)

| Satuan Wilayah Air Tanah | Satuan dan Deskripsi Litologi | Ciri Kandungan Air Tanah |
|--------------------------|---|---|
| Pegunungan Selatan | Batuan breksi, lava, tufa dan batu pasir berselingan dengan batu lempung dan breksi serta batu gamping kalkarenit | Umumnya daya hantar kecil atau bersikap sebagai bahan pengantar air yang buruk. Merupakan daerah pengaliran permukaan, sehingga potensi air tanah sangat kecil. Suatu perkecualian terdapat pada batu gamping karena terjadi system rekahan atau peronggaan |

(Sumber: Agustawijaya 2022)



Gambar 2.4 Peta Pembagian Air Tanah di Pulau Lombok (Agustawijaya, 2022)

2.2.8 Geologi

Geologi merupakan Ilmu Pengetahuan Kebumihan yang mempelajari segala sesuatu mengenai planet bumi beserta isinya yang pernah ada. Ilmu Geologi merupakan kelompok ilmu yang membahas tentang sifat-sifat dan bahan-bahan yang membentuk bumi, struktur, proses-proses yang bekerja baik di dalam maupun di atas permukaan bumi, kedudukannya di alam Semesta serta sejarah perkembangannya sejak bumi ini lahir di alam semesta hingga sekarang. Geologi dibagi menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu:

1. Geologi Fisik (*Physical Geology*)

Geologi fisik adalah suatu studi yang mengkhususkan mempelajari sifat fisik dari bumi, seperti susunan dan komposisi dari bahan-bahan yang mengitari bumi, selaput udara yang mengitari bumi, khususnya bagian yang melekat dan berinteraksi dengan bumi, kemudian selaput air atau hidrosfir, serta proses-proses yang bekerja di atas permukaan bumi yang dipicu oleh energi matahari dan tarikan gaya berat bumi. Proses yang dimaksud itu, dapat dijabarkan sebagai pelapukan, pengikisan, pemindahan, pengendapan.

2. Geologi Dinamis

Geologi dinamis adalah bagian dari Ilmu Geologi yang mempelajari dan membahas tentang sifat-sifat dinamika bumi. Sisi ini berhubungan dengan perubahan-perubahan pada bagian bumi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang dipicu oleh energi yang bersumber dari dalam bumi, seperti kegiatan magma yang menghasilkan vulkanisme, gerak-gerak litosfir akibat adanya arus konveksi, gempa bumi dan gerak-gerak pembentukan cekungan pengendapan dan pegunungan.

Dalam memberikan gambaran secara menyeluruh tentang kondisi geologi di suatu tempat, para geologi menggunakan sarana peta yang biasa disebut dengan peta geologi. Secara unsur geologi yang ada, digambarkan di atas peta dasar yang berupa peta topografi dengan skala tertentu, misalnya 1:100.000 atau 1:25.000. pada peta geologi digambarkan mengenai jenis tanah yang ada, penyebaran, hubungan antar jenis batuan, kedudukan batuan yang ada, beserta akibat dari gejala tektonik seperti lipatan, retakan (kekar), atau sesar (patahan) yang dimana unsur-unsur tersebut dijelaskan dalam bentuk warna dan simbol. (Agustawijaya, 2019) peta geologi dibagi menjadi dua jenis yaitu geologi umum dan peta geologi tematik.

1. Peta Geologi Umum

Peta geologi umum menjelaskan gambaran mengenai semua gejala geologi yang ada secara umum. Peta ini memberikan gambaran mengenai suatu daerah yang biasanya menggunakan skala yang lebih kecil, seperti 1:500.000, 1:100.000, atau 1:250.000. Yang dimana pada peta geologi ini berguna untuk menjadi dasar perencanaan pendahuluan dari suatu pekerjaan teknik.

2. Peta Geologi Tematik

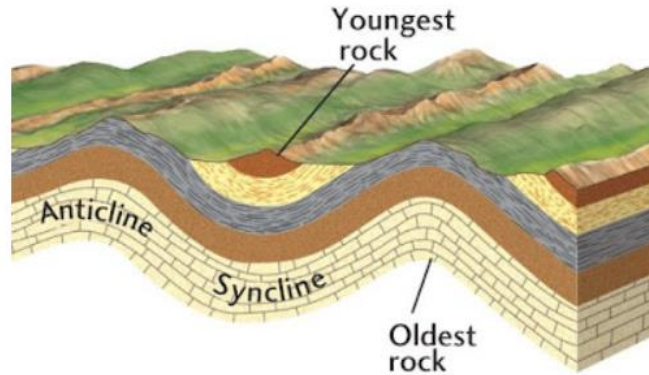
Dalam peta geologi tematik difokuskan pada tujuan dari pembuatan peta, misalnya: untuk eksplorasi air, perencanaan jalan, pemanfaatan bahan galian golongan C, pembuatan bendungan, dan perluasan kota. Peta geologi ini biasanya menggunakan skala yang lebih besar dari pada skala pada peta geologi umum, misalnya 1:10.000, 1:5.000, atau 1:1.000. Di samping unsur-unsur peta geologi secara umum, juga dicantumkan unsur-unsur geografi dan administrasi yang sekiranya diperlukan.

2.2.9 Geologi Struktur

Geologi struktur adalah salah satu cabang ilmu yang termasuk dalam jenis geologi dasar. Kajian dalam geologi struktur meliputi gaya-gaya yang bekerja pada batuan dan pembentukan struktur geologi melalui proses-proses geologi dan mekanismenya. (Agustawijaya,2019) terdapat dua bentukan struktur geologi yaitu lipatan dan sesar, yang dimana batuan terlipat dan mengalami patahan. sementara itu sesar adalah bidang retakan atau patahan yang mengalami pergerakan antara bidang muka satu terhadap bidang muka lainnya sepanjang jurus bidang.

2.2.9.1 Perlipatan (*Folds*)

Perlipatan adalah bentukan struktur geologi yang berbentuk seperti gelombang dengan berbagai macam ukuran. Lipatan terbentuk pada bidang planar yang mengalami tekanan dari dua arah yang berlawanan, sehingga batuan mengalami perlipatan. Secara sederhana perlipatan dibagi menjadi dua tipe, yaitu anklin dan sinklin (Gambar 2.4).



Gambar 2.5 Konfigurasi Perlipatan Anklin dan Sinklin
 Sumber: <https://www.gurugeografi.id/2017>

1. Anklin

Anklin merupakan bentang alam berbentuk bukit hasil pelipatan. Antiklin dibagi menjadi *anticlinal ridges* dan *anticlinal valley*. *Anticlinal ridges* merupakan bukit hasil pelipatan oleh gaya endogen dan masuk dalam kategori geomorfik muda karena sementara *anticlinal valley* merupakan lembah yang diapit oleh sepasang bukit antiklin. Lembah antiklin terjadi karena proses eksogen telah merubah bentuk aslinya.

2. Sinklin

Sinklin merupakan bentang alam berbentuk lembah yang tersusun dari batuan sedimen. Sinklin terbagi menjadi *synclinal ridges* dan *valley ridges*. *Synclinal ridges* merupakan bentang alam bukit yang sebenarnya merupakan morfologi sinklin namun telah mengalami pembalikan topografi karena erosi sehingga terkesan berada di atas. *Valley ridges* adalah bentang alam sebuah lembah yang termasuk kategori geomorfik muda sehingga belum dirubah oleh gaya oksigen.

2.2.9.2 Sesar

Sesar merupakan bidang retakan atau patahan yang mengalami pergerakan antara bidang muka satu terhadap bidang muka lainnya pada sepanjang jurus bidang. Nilai atau besar perpindahannya bervariasi dari milimeter sampai ratusan kilometer. Bidang sesar bisa terlihat secara jelas dan bersih pada batuan, atau diamati secara teliti pada kekar-kekas yang terbentuk akibat sesar pada zona besar.

Berdasarkan arah pergerakannya sesar dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Strike-slip* : Sesar yang bergerak searah lurus
2. *Dip-slip* : Sesar yang bergerak searah *dip*
3. *Oblique-slip* : Sesar yang bergerak searah garis *pitch*

(Anderson, 1951) membagi jenis sesar berdasarkan *principle stress*. *Principle stress* adalah gaya yang bekerja tegak lurus bidang sehingga *shear stress* pada bidang tersebut adalah nol. Klasifikasi Anderson membagi jenis sesar menjadi tiga macam (Gambar 2.5), yaitu:

1. Sesar Normal (*normal flaut*)

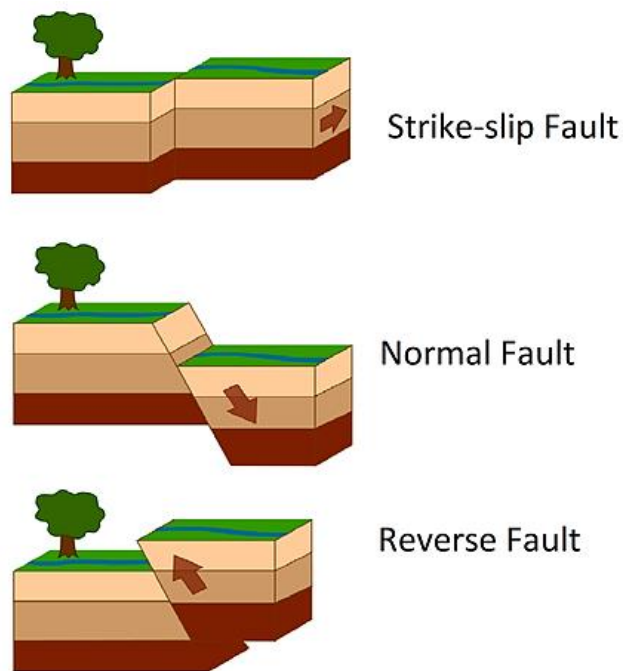
Sesar normal mengalami pergeseran yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi, sesar ini terjadi ketika gaya tekan mencapai maksimum secara vertikal.

2. Sesar Naik (*reserve flauta tau thrust fault*)

Sesar naik ditandai dengan adanya salah satu blok batuan yang bergeser ke arah atas dan blok batuan lainnya bergeser ke arah bawah. Sesar naik ini biasanya akan membentuk sudut kemiringan yang lebih kecil dari 45 derajat.

3. Sesar mendatar (*strike-slip fault*)

Sesar mendatar adalah sesar yang arah pergerakannya sejajar. Sesar mendatar ini juga dibagi lagi ke dalam dua jenis, yaitu sesar mendatar *dextral* dan sesar mendatar *sinistral*. Sesar mendatar *dextral* adalah sesar yang pergerakannya ke arah kanan, sedangkan sesar mendatar *sinistral* pergerakannya ke arah kiri. sesar semangko di bawah pegunungan bukit barisan memiliki arah geser kanan, sehingga termasuk sesar mendatar.



Gambar 2.6 Jenis-Jenis Sesar

Sumber: Kompas.com

2.2.10 Gempa Bumi

Menurut M.T. Zen, gempa didefinisikan sebagai gerakan tiba-tiba atau sederetan gerakan tiba-tiba dari tanah batuan yang bersifat dan berasal dari suatu daerah terbatas yang kemungkinan menyebar ke segala arah karena dirambatkan oleh medium yang ada (lapisan bumi). Menurut Katili (1966), gempa bumi didefinisikan sebagai suatu sentakan asli yang terjadi di bumi bersumber dari dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan. Adanya perambatan getaran tersebut menyebabkan terjadinya beban berulang (siklik) pada tanah yang menyebabkan terjadinya likuifaksi di permukaan bumi.

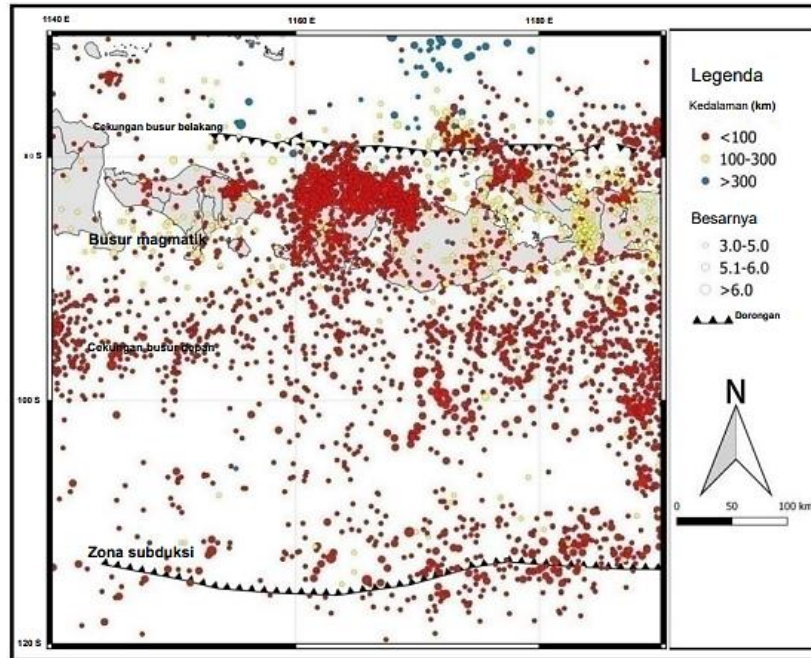
Karakteristik pergerakan tanah yang di akibatkan gempa bumi dapat diketahui dari hasil laporan *accelograph* yang telah mencatat peristiwa gempa bumi. Dapat disimpulkan bahwa karakteristik pergerakan tanah akibat gempa bumi terdiri dari.

1. Percepatan maksimum tanah
2. Kecepatan maksimum tanah
3. Perpindahan maksimum tanah
4. Durasi guncangan tanah.

Parameter tersebut merupakan karakteristik utama dari pergerakan tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Namun parameter tersebut tidak dapat memastikan gambaran efek negatif yang mungkin timbul akibat intensitas guncangan yang terjadi, dimana hal ini juga dipengaruhi oleh karakteristik frekuensi pergerakan yang terjadi. Sebagai contoh gempa dengan percepatan besar yang potensi terhadap kehancuran dan pengrusakan jika terjadi dalam waktu yang singkat, gempa tersebut hanya akan menimbulkan kerusakan kecil pada beberapa jenis struktur yang ada. Karakteristik gempa bumi di beberapa tempat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya.

1. Kekuatan dari gempa itu sendiri.
2. Jarak pusat gempa ke tempat energi dilepaskan.
3. Karakteristik batuan sepanjang rambatan gelombang gempa.
4. Mekanisme terbentuknya sumber gempa.
5. Efek gangguan gelombang yang dipengaruhi arah dan kecepatan gelombang rambatan.
6. Kondisi dan jenis tanah pada daerah penelitian

Kekuatan gempa bumi yang terjadinya berdasarkan zona daerah tertentu. Data gempa bumi berupa peta kegempaan data gempa utama 2160 Mw>3.0 selama periode 1922-2018, yang tersebar di sekitar Pulau Lombok dalam empat zona tektonik. Peta wilayah gempa Lombok dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Peta seismisitas Pulau Lombok (Agustawijaya dkk, 2020)

2.2.11 Geolistrik

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat kelistrikan pada lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara menginjeksi arus listrik ke dalam tanah. Secara teoritis pengujian geolistrik digunakan untuk mendeteksi keberadaan air tanah berdasarkan arus listrik yang dihantarkan oleh formasi batumannya. Batuan yang mengandung air memiliki daya hantar listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan yang tidak mengandung air.

Tujuan utama dari metode pengukuran geolistrik ini adalah untuk mencari resistivitas dari suatu lapisan batuan terhadap arus listrik (Dobrin, 1981). Resistivitas batuan dapat diukur dengan memasukkan arus listrik ke dalam tanah melalui 2 titik elektrode di permukaan tanah dan 2 titik lain untuk mengukur beda potensial pada permukaan yang sama. Adapun hasil dari pengukuran geolistrik tersebut berupa peta sebaran tahanan jenis baik dengan jenis pemetaan atau horisontal maupun *sounding* atau

kedalaman. Hasil pengukuran geolistrik disesuaikan dengan kebutuhan diadakannya akuisisi data serta jenis konfigurasi yang digunakan.

Karena medium bawah permukaan bumi tidak homogen (sejenis), maka ada pengertian hambatan jenis (resistivitas/ ρ) yang nilainya dipengaruhi oleh pemasangan elektroda arus dan potensial atau faktor geometri (k), selain tegangan yang terbaca (V) dan arus dikirimkan (I), maka persamaan umum resistivitas dapat dilihat pada persamaan 2.6 berikut.

$$\rho = \frac{k \Delta V}{I} \quad (2.6)$$

Keterangan:

ρ = Resistivitas (Ωm)

ΔV = Beda potensial (V)

k = Faktor geometri (m)

I = Arus listrik (A)

Prinsip dasar metode resistivitas adalah Hukum Ohm. Dimana hambatan diperoleh dengan mengukur beda potensial dan arus yang dilewatkan dalam suatu penghantar seperti pada persamaan 2.7, sebagai berikut.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.7)$$

Keterangan:

R = Resintansi (Ω)

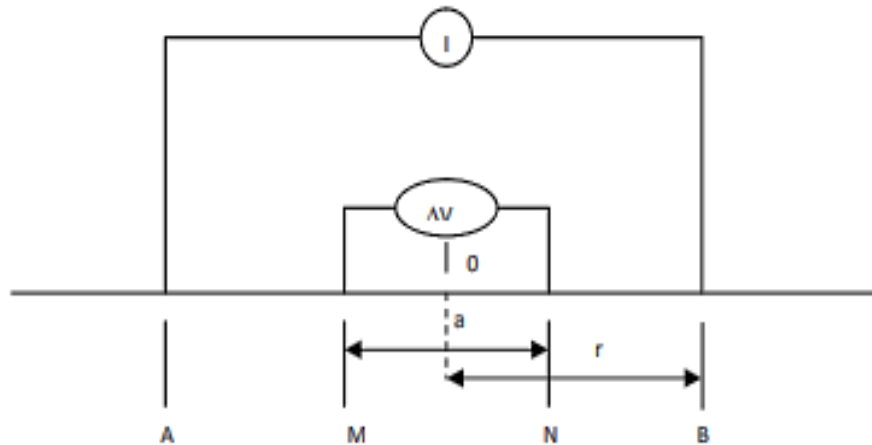
V = Potensial (V)

I = Arus listrik (A)

Porositas dan kandungan kimia dari larutan yang mengisi pori-pori batuan sangat menentukan resistivitas dari batuan yang di uji. Jika pori-pori lapisan batuan jenuh, maka resistivitas lapisan tersebut akan ditentukan oleh resistivitas air tersebut (Dobrin, 1981). Umur dari batuan mempengaruhi resistivitas batuan. Untuk batuan yang berumur kuarter dan tersier memiliki resistivitas berkisar dari 1-10 Ohm-m untuk batu pasir yang berasal dari endapan laut, dan berkisar antara 15-50 Ohm-m untuk batupasir yang berasal dari endapan darat.

Biasanya pengukruan geolistrik menggunakan arus listrik dengan frekuensi rendah yang dialirkan ke dalam tanah atau batuan dengan menggunakan 4 elektroda. Satu

pasang elektroda untuk potensial (M & N) dan satu pasang lagi untuk arus (A & B). Jika kedua elektroda dipancarkan ke dalam bumi dan voltage diberikan, maka akan muncul arus listrik yang akan mengalir ke dalam bumi antar elektroda yang dimana garis alirannya akan selalu tegak lurus (berpotongan) dengan garis potensial. Pengukuran uji geolistrik dapat digunakan cara Schlumbereger (Gambar 2.8) seperti berikut:



Gambar 2.8 Diagram Pendukung Geolistrik Metode Schlumberger (Agustawijaya, 2022)

Pada metode Schlumberger, operator memperlebar spasi elektroda dengan menambah jarak antara elektroda-elektroda arus (A & B), ataupun elektroda-elektroda potensial (M & N), tetapi hal tersebut dilakukan sekali selama melakukan pengukuran.

Resistivitas terbaca dapat dilihat pada persamaan 2.8 berikut.

$$\rho_a = \frac{\pi r^2 V}{a I} \quad (2.8)$$

Ketelitian pada jarak luas penampang bahan (a) harus lebih kecil dari 1/5 r dan pada pengukuran panjang elektroda arus (AB/2) minimal 100m. Nilai tegangan minimum 1 Volt dengan cara mengubah/kurva pada kertas grafik log-log. Pengukuran dilakukan sejajar dan tegak lurus strike.

2.2.12 Metode Untuk Menganalisis Potensi Likuifaksi

Potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu uji laboratorium dan pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuifaksi dari hasil uji lapangan yaitu SPT dan CPT dengan menambahkan data Geohidrologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi, dan Geolistrik sebagai data penguat hasil pengujian.

Uji *Standard Penetration Test* (SPT) adalah uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Kelebihan dan alasan utama pengujian ini digunakan secara luas karena pengujian ini murah dan sederhana. Parameter kekuatan tanah yang didapat adalah perkiraan, tetapi dapat memberikan panduan yang berguna dalam kondisi tanah dimana tidak memungkinkan untuk mendapatkan sampel bor yang kualitasnya memadai. Tes *Cone Penetration Test* (CPT) atau yang lebih sering disebut uji sondir merupakan penetrometer statis yang dipakai secara luas di Indonesia.

Adapun metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah dengan cara mendapatkan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yaitu nilai yang mencerminkan kekuatan terhadap beban siklik yang diakibatkan oleh gempa bumi dengan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yaitu nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi.

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

Keterangan:

jika $FS = 1$ (kondisi kritis)

jika $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi)

jika $FS < 1$ (terjadi likuifaksi)

2.2.12.1 Metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*)

Pada tahun 1985, Professor Robert V. Whitman menyelenggarakan workshop atas nama National Research Council (NRC), didalam workshop tersebut 36 ahli dan peneliti secara seksama mereview bahaya akibat likuifaksi. Workshop tersebut

menghasilkan laporan (NRC 1985) yang secara luas digunakan untuk evaluasi bahaya dari likuifaksi. Pada tahun Januari 1996, T.L. Youd dan I.M. Idriss menyelenggarakan workshop yang dihadiri oleh 20 orang ahli untuk memperbaharui *simplified procedure* dan merangkum temuan - temuan sebelumnya. Pada metode NCEER terdapat dua parameter yang sangat menentukan hasil analisis, yaitu pembebanan cyclic yang dialami tanah atau *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan tahanan tanah terhadap likuifaksi atau *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang dimana konteksnya likuifaksi menjelaskan tentang suatu fenomena pelunakan tanah akibat naiknya angka pori. Dalam menghitung nilai CSR dibutuhkan parameter percepatan gempa maksimum di permukaan (a_{max}).

2.2.12.2 Metode CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

Pada tahun 1971 Seed dan Idriss memformulasikan persamaan untuk rasio tegangan siklik tanah atau CSR dengan Persamaan 2.9 berikut.

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \times r_d \quad (2.9)$$

Keterangan:

a_{max} = Percepatan tanah maksimum akibat gempa (m/s^2)

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

σ_{vo} = Tegangan overburden vertikal efektif (Kn/m^2)

r_d = Koefisien tegangan reduksi

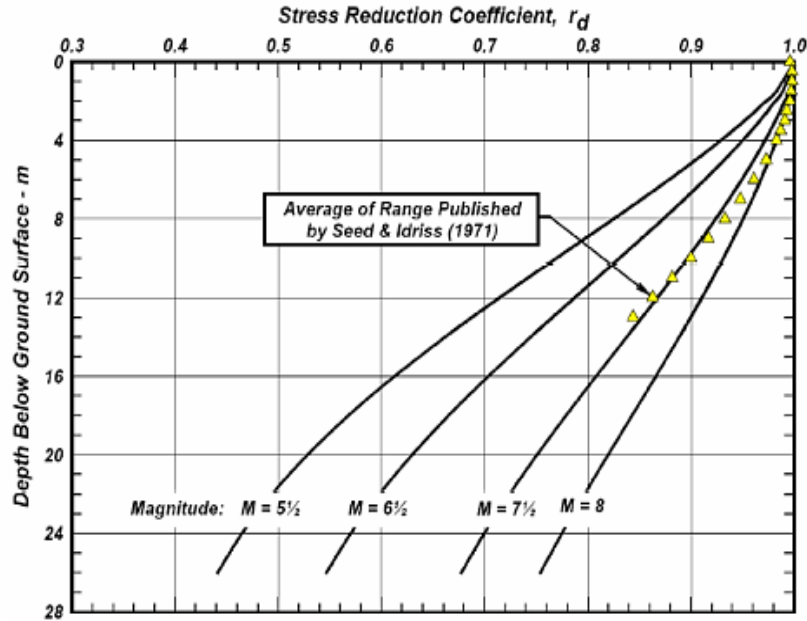
Untuk menganalisis koefisien reduksi tegangan persamaan (Liao dan Whitman, 1968) berikut digunakan dalam menentukan r_d dapat di lihat Persamaan (2.10), (2.11), (2.12) dan (2.13) sebagai berikut ini.

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \text{ untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2.10)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 z \text{ untuk } 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \quad (2.11)$$

$$r_d = 0,774 - 0,008 z \text{ untuk } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \quad (2.12)$$

$$r_d = 0,5 \text{ untuk } z \geq 30 \text{ m} \quad (2.13)$$



Gambar 2.9 r_d Vs Depth Curves Developed by Seed and Idriss

(Sumber: I.M Idriss and R.W. Boulanger)

Untuk memudahkan perhitungan, TF Blake (1996) memperkirakan rata-rata (nilai tengah) plot kurva pada Gambar 2.9 oleh Persamaan 2.14 berikut.

$$r_d = \frac{(1,000 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5})}{2a(1,000 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,001210z^2)} \quad (2.14)$$

Keterangan:

z = Kedalaman dibawah permukaan tanah dalam satuan meter.

Sedangkan menurut Idriss (1999), meneruskan apa yang dikerjakan oleh Golezorkhi (1989) dilakukan beberapa ratus analisis respon parametrik dan disimpulkan bahwa nilai r_d harus menunjukkan fungsi dari kedalaman dan earthquake magnitude (M_w). Dan Persamaan (2.15), (2.16) dan (2.17) berikut menunjukkan hasil dari analisis tersebut.

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M) \quad (2.15)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin(((z)/11,73) + 5,133) \quad (2.16)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin(((z)/11,38) + 5,412) \quad (2.17)$$

Dimana z adalah kedalaman dalam meter, adalah momen M_w magnitude. Persamaan diatas secara matematik dapat diterapkan pada kedalaman $z \leq 34$ m. Namun ketidakpastian nilai r_d dengan meningkatnya kedalaman, maka persamaan diatas sebenarnya hanya bisa diterapkan pada kedalaman kurang dari 20 m.

2.2.12.3 Metode CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

Nilai CRR dapat dihitung dari berbagai data uji lapangan. Data uji lapangan yang biasa digunakan yaitu *Standart Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT), *Becker Penetration Test* (BPT), dan *Shear Wave Velocity* (V_s). Pada kasus ini penulis hanya melakukan analisis nilai CRR menggunakan data SPT dan CPT sebagai berikut.

2.2.12.3.1 Metode Evaluasi CRR Berdasarkan Data SPT

Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai CRR (*Cyclic Stress Ratio*) dari data SPT yaitu sebagai berikut. Untuk menentukan nilai $(N1)_{60}$ menggunakan faktor koreksi dan normalisasi dengan Persamaan (2.18) berikut.

$$(N1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (2.18)$$

Dimana N_m merupakan nilai data *Standart Penetration Test* (SPT), dan yang lainnya merupakan faktor koreksi (normalisasi) yang dapat ditentukan melalui tabel dibawah ini.

Tabel 2.4 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N1)_{60}$

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

(Sumber: Youd dan Idriss, 1997)

Menentukan *Fines Content* (FC) lalu hitung nilai $(N1)_{60cs}$ yang dipengaruhi oleh nilai *Fines Content* itu sendiri (Youd dan Idriss, 2001). Karakteristik lain dari tanah seperti plastisitas tanah, dapat mempengaruhi ketahanan likuifaksi, namun koreksi untuk faktor – faktor ini belum dikembangkan. Persamaan (2.19) berikut ini dikembangkan oleh I. M. Idriss dengan bantuan R. B. Seed untuk faktor koreksi $(N1)_{60cs}$:

$$F_c < 35\% \text{ untuk } \alpha = 5,0$$

$$\beta = 1,2 (qc_{IN})_{CS} = \alpha + \beta (N1)_{60} \quad (2.19)$$

Nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase fines content FC,

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| $\alpha = 0, \beta = 1,$ | $FC \leq 5\%$ |
| $\alpha = \exp[1,76-(190/FC^2)]$ | $5\% < FC < 35$ |
| $\beta = [0, 99-(FC1,5/1000)]$ | $5\% < FC < 35\%$ |
| $\alpha = 5,0 \beta = 1,2$ | $FC \geq 35\%$ |

Untuk menghitung nilai CRR dapat digunakan persamaan (2.20) berikut ini :

$$CRR = \frac{1}{34-(N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N1)_{60cs} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \quad (2.20)$$

2.2.12.3.2 Metode Evaluasi CRR Berdasarkan Data CPT

Nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) merupakan nilai ketahanan suatu lapisan tanah terhadap tegangan siklik. Nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dapat diperoleh dengan beberapa cara, diantaranya berdasarkan hasil pengujian lapangan yaitu hasil pengujian CPT berupa perlawanan konus (q_c).

Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ukuran konus yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas (Kg/cm^2). Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah (Hardiyatmo, 1992). Berdasarkan teori Youd dan Idriss (1997) nilai tahanan ujung yang akan diformulasikan, menggunakan persamaan sebagai berikut:

Menghitung nilai q_{cIN} , yaitu nilai tahanan ujung terkoreksi yang akan diformulasikan sebagai Persamaan 2.21 sebagai berikut.

$$q_{cIN} = C_q \times \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \quad (2.21)$$

Dimana untuk nilai C_q ialah faktor normalisasi tahanan ujung konus dan nilai P_a adalah tekanan pada 1 atm.

Hubungan q_{cIN} dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) atau CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dari Robertson dan Wride (1998) dalam Youd et.al (2001), didasarkan pada Persamaan (2.22) dan (2.23) yang digunakan untuk memperkirakan nilai CRR pada tanah, yaitu :

$$(q_{cIN})_{cs} < 50 \text{ untuk } CRR = 0,833 \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{1000} \right) + 0,05 \quad (2.22)$$

$$50 \leq (q_{cIN})_{cs} < 160 \text{ untuk } CRR = 93 \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{1000} \right)^3 + 0,08 \quad (2.23)$$

Dimana nilai K_c merupakan faktor koreksi untuk karakteristik butir yang didefinisikan dari persamaan (2.24) dan (2.25) sebagai berikut.

$$\text{jika } I_c \leq 1,64 \text{ untuk } K_c = 1 \quad (2.24)$$

$$\text{Jika } I_c > 1,64 \text{ untuk } K_c = -0,403I_c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88 \quad (2.25)$$

Keterangan:

K_c = Factor koreksi untuk karakteristik butiran

Perhitungan nilai ekuivalen normalisasi pasir bersih CPT $(q_{cIN})_{CS}$ dapat ditentukan dari Persamaan (2.26) (Robertson dan Wride, 1988) sebagai berikut.

$$(q_{cIN})_{CS} = K_c \cdot q_{cIN} \quad (2.26)$$

Menentukan jenis tanah dengan iterasi eksponen “n” melalui nilai I_c agar diketahui jenis tanah apa yang sedang diuji. Karena teknik CPT tidak dapat memiliki sampel yang bisa diuji di laboratorium. Persamaan 2.27 untuk mendapatkan I_c sebagai berikut :

$$I_c = ((3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2)^{0,5} \quad (2.27)$$

Perhitungan nilai Q untuk pasir murni, nilai eksponen $n = 0,5$ sedangkan tanah lempung menggunakan eksponen $n = 0,1$. Pada saat sudah diuji dan dapat diketahui jenisnya dengan menggunakan persamaan (2.28) dan (2.29) yang dipakai Youd dan Idriss (1997) sebagai berikut ini.

$$C_q = \left(\frac{Pa}{\sigma_{vo}'}\right)^2 \quad (2.28)$$

$$Q = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{Pa} \times \left(\frac{pa}{\sigma_{vo}'}\right)^2 \quad (2.29)$$

Rasio friksi data *Cone Penetration Test* (CPT) umumnya meningkat dengan meningkatnya *finer content* dan sifat plastisitas tanah yang memungkinkan perkiraan kasar dari jenis tanah dan *finest content* dapat ditentukan dari data CPT (Robertson and Wride, 1997) dengan Persamaan 2.30 berikut ini.

$$F = \frac{(fs)}{(q_c - \sigma_{vo})} \times 100\% \quad (2.30)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dapat menggunakan persamaan (2.31) dan (2.32) Robertson and Wride (1998) sebagai berikut ini.

$$CRR = 0,833 \left(\frac{(q_{cIN})_{CS}}{1000}\right) + 0,05 \quad (2.31)$$

$$CRR = 93 \left(\frac{(q_{cIN})_{CS}}{1000}\right)^3 + 0,08 \quad (2.32)$$

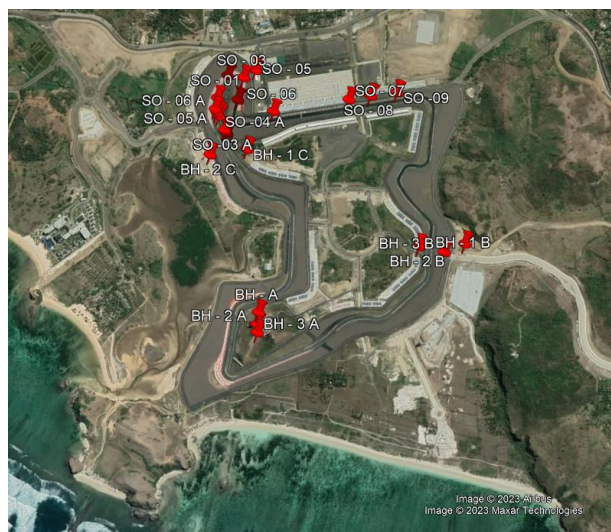
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika adalah metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*) dengan perhitungan CSR dan CRR sehingga mendapatkan nilai SF menggunakan program Microsoft Excel berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT), dengan data pendukung untuk melakukan pembuktian terbalik potensi likuifaksi yaitu, Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi, dan Geolistrik.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di daerah Sirkuit Internasional Mandalika, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Objek pada penelitian ini meliputi 8 titik hasil pengujian *Standar penetration Test* (SPT), yaitu: BH – 01 A, BH – 02 A, BH – 03 A, BH – 01 B, BH – 02 B, BH – 03 B, BH – 01 C, BH – 02 C dan 15 titik hasil pengujian *Cone penetration Test* (CPT), yaitu: SO – 01, SO – 02, CPT SO – 03, SO – 04, SO – 05, SO – 06, SO – 07, SO – 08, SO – 09, SO – 01 A, SO – 02 A, SO – 03 A, SO – 04 A, SO – 05 A, dan SO – 06 A (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian
(Sumber: Google Earth Pro, 2023)

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan pembuktian potensi terjadinya likuifaksi berdasarkan data geohidrologi, geologi, geologi struktur, gempa bumi, dan geolistrik. Dengan tahapan penelitian yang dilakukan adalah mengumpulkan literatur dan referensi yang menjadi landasan teori yang dapat memberikan gambaran dalam langkah-langkah yang akan digunakan dalam studi kasus ini. Pengambilan data yang mendukung tercapainya tujuan studi berasal dari instansi ataupun pihak-pihak terkait. Tahapan analisis dan pengolahan data yang di dapatkan di lakukan dengan menggunakan program *Microsoft Excel* berdasarkan teori dan logika yang berlaku pada metode NCEER. Tahapan dalam penulisan laporan penelitian dengan menarik kesimpulan berdasarkan aturan yang berlaku dan hasil pengolahan data. Kesimpulan diambil berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang timbul.

3.3.1 Survei Pendahuluan

Dilakukannya survei pendahuluan dengan mengobservasi kondisi di Sirkuit International Mandalika untuk menentukan titik-titik hasil pengujian *Standar Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) yang berpotensi likuifaksi.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan pengumpulan informasi mengenai penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian sehingga dapat menunjang penelitian ini. Adapaun literatur yang dimaksud adalah :

- 1) Literatur berupa buku (*hard copy*)
- 2) Literatur berupa buku elektronik
- 3) Literatur penelitian dengan topik yang sama

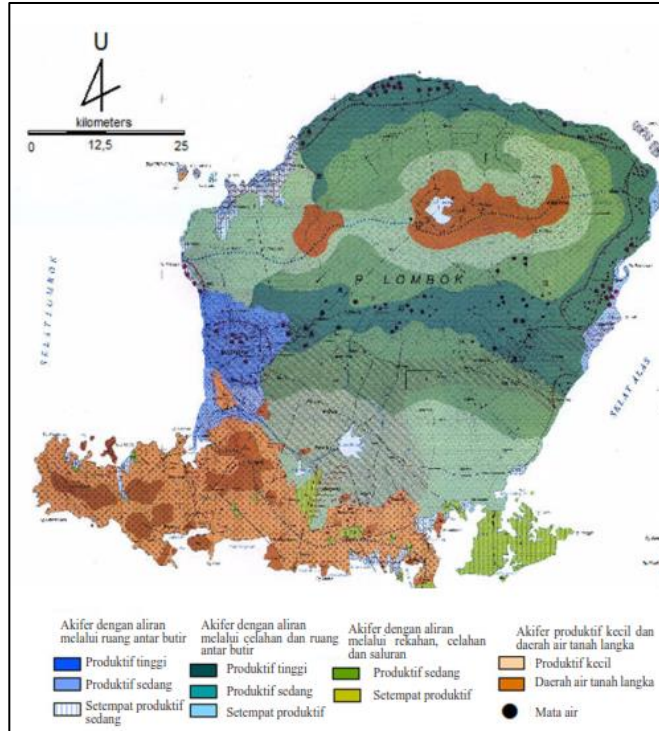
3.3.3 Pengumpulan Data

Setelah mengetahui teori dan konsep yang berhubungan dengan judul penelitian yang akan digunakan sebagai acuan dalam pembahasan, kemudian dilakukan pengumpulan data, di mana data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data skunder.

Data sekunder merupakan data-data yang diperoleh dari instansi terkait dan literatur untuk mendukung penelitian. Data skunder yang diperlukan dalam penelitian ini adalah: literatur dari intansi terkait yaitu PT. Wijaya Karya dan PT. Bunga Raya Lestari, yaitu data geohidrologi, data geologi, data geologi struktur, data gempa bumi, data geolistrik, data hasil pengujian *Standar penetration Test* (SPT) dan data *Cone penetration Test* (CPT).

1. Data Hidrogeologi

Data hidrogeologi yang diperoleh merupakan data peta geohidrologi pulau Lombok yang dikembangkan oleh Pusat Geologi (1996) yang digunakan menjadi data dasar untuk menyatakan kondisi air tanah berdasarkan formasi batuan pada daerah Lombok bagian selatan (Gambar 3.2). Kondisi air tanah sangat penting untuk analisis potensi terjadinya likuifaksi.



Gambar 3.2 Peta Hidrogeologi Regional Pulau Lombok (Agudtawijaya, 2022)

2. TERDAPATNYA AIR TANAH DAN PRODUKTIVITAS AKUIFER
 OCCURRENCE OF GROUNDWATER AND PRODUCTIVITY OF AQUIFER

2.1. AKUIFER DENGAN ALIRAN MELALUI RUANG ANTAR BUTIR
 AQUIFERS IN WHICH FLOW IS INTERGRANULAR

- Akifer produktif tinggi**
Highly productive aquifer
 (Akifer dengan ketulusan sedang sampai tinggi, muka airtanah atau tinggi pisometri airtanah dekat muka airtanah, debit sumur umumnya lebih dari 10 l/dtk.
(Aquifer of moderate to high transmissivity, water table or piezometric head of groundwater near land surface, wells yield generally more than 10 l/sec).
- Akifer produktif sedang**
Moderately productive aquifers
 (Akifer dengan ketulusan sedang, muka airtanah atau tinggi pisometri airtanah dekat muka airtanah, debit sumur umumnya 5 sampai 10 l/dtk.
(Aquifer of moderate transmissivity, water table or piezometric head of groundwater near land surface, wells yield generally 5 to 10 l/sec).
- Setempat akifer produktif sedang**
Locally moderately productive aquifers
 (Akifer tidak menerus dan rendah ketulusannya, debit sumur umumnya kurang dari 5 l/dtk.
(Mostly incoherent aquifers of low to moderate transmissivity, wells yield generally less than 5 l/sec).

2.2. AKUIFER DENGAN ALIRAN MELALUI CELAHAN DAN RUANG ANTAR BUTIR
 AQUIFERS IN WHICH FLOW IS BOTH THROUGH FISSURES AND INTERSTICES

- Akifer produktif tinggi**
Highly productive aquifer
 (Akifer dengan ketulusan dan kisaran kedalaman muka airtanah sangatberagam, debit sumur umumnya lebih dari 5 l/dtk.
(Aquifer of largely varying transmissivity, depth to water table varies in wide range, wells yield generally more than 5 l/sec).
- Akifer produktif sedang**
Moderately productive aquifers
 (Akifer dengan ketulusan sangat beragam, kedalaman muka airtanah bebas umumnya dalam, debit sumur umumnya kurang dari 5 l/dtk.
(Aquifer of largely varying transmissivity, depth to water table generally great, wells yield generally less than 5 l/sec).
- Setempat akifer produktif**
Locally productive aquifers
 (Akifer dengan ketulusan sangat beragam, umumnya airtanah tidak dimanfaatkan karena dalamannya muka airtanah, setempat mataair berdebit kecil dapat terturap)
(Aquifer of largely varying transmissivity, generally no groundwater exploitation by drilling due great depth to the groundwater table, locally small spring can be captured)

2.3. AKUIFER DENGAN ALIRAN MELALUI REKAHAN, CELAHAN, DAN SALURAN
 AQUIFERS IN WHICH FLOW IS THROUGH FISSURES, FRACTURES AND CHANNELS

- Akifer produktif sedang**
Moderately productive aquifers
 (Aliran airtanah terbatas pada zona celahan, rekahan dan saluran peraluran; umumnya ketulusan sedang, debit sumur dan mataair beragam dalam kisaran yang sangat besar).
(Groundwater flow is limited to fissures, fracture zones and solution channels; generally moderate transmissivity, well yields and spring discharges vary in an extremely wide range).
- Setempat akifer produktif**
Locally productive aquifers
 (Aliran airtanah terbatas pada zona celahan, rekahan dan saluran peraluran; umumnya ketulusan rendah sampai sedang, muka airtanah dalam, debit mataair umumnya kecil)
(Groundwater flow is limited to fissures, fracture zones and solution channels; generally low to moderate transmissivity, and groundwater table is deep, springs discharge generally low)

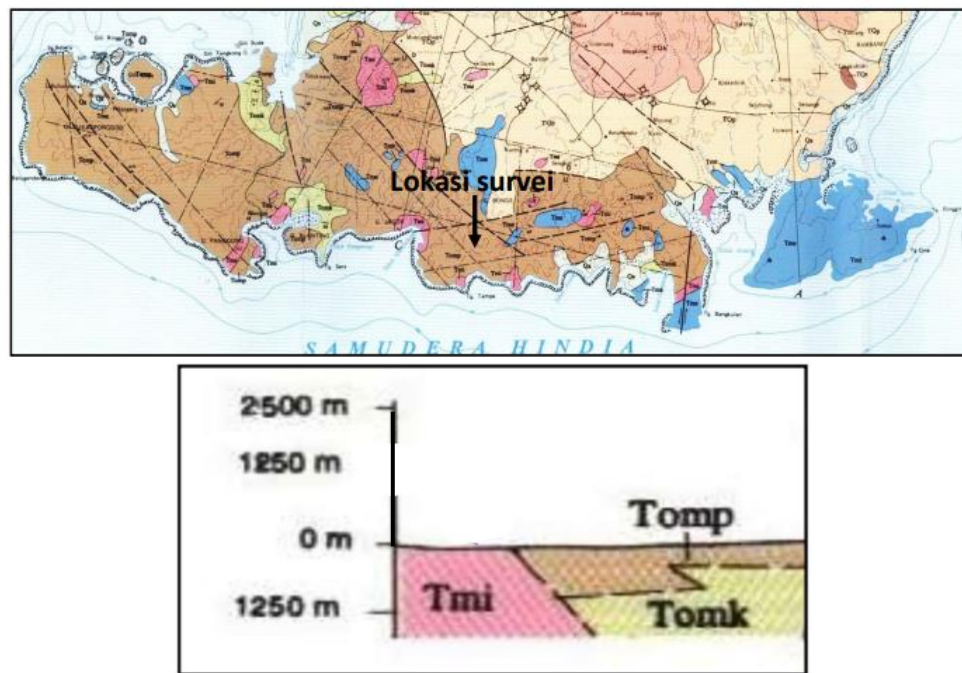
2.4. AKUIFER (BERCELAH ATAU SARANG) PRODUKTIF KECIL DAN DAERAH AIR TANAH LANGKA
 AQUIFER (FISSURED OR POROUS) OF POOR PRODUCTIVITY AND REGIONS WITHOUT EXPLOITABLE GROUNDWATER

- Akifer produktif kecil, setempat berarti**
Poorly productive aquifer of local importance
 (Umumnya ketulusan sangat rendah; setempat airtanah dangkal dalam jumlah terbatas dapat diperoleh pada zona pelapukan dari batuan padu).
(Generally very low transmissivity; locally, limited shallow groundwater resources can be obtained in weathered zones of solid rocks)
- Daerah airtanah langka**
Region without exploitable groundwater

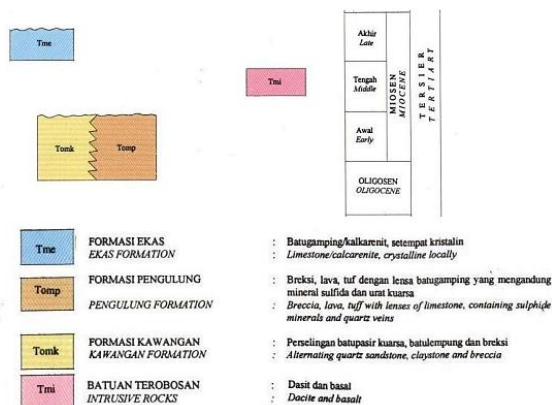
Gambar 3.3 Legenda Air Tanah Pulau Lombok (Agustawijaya, 2022)

2. Data Geologi

Data geologi diperlukan untuk mengetahui Informasi tanah dan batuan yang ada pada sirkuit international mandalika mengikuti prosedur standar ISRM (1980) untuk menggambarkan singkapan batuan yang ada pada permukaan. Data geologi regional oleh Andi Mangga dkk. (1994) yang akan digunakan menjadi data dasar yang nantinya akan memudahkan peneliti mengetahui formasi geologi yang ada pada lokasi penelitian. Berikut ini adalah peta geologi Pulau Lombok (Gambar 3.3).



Gambar 3.4 Peta geologi regional Pulau Lombok (Andi Mangga dkk., 1994)



Gambar 3.5 Stratigrafi Pulau Lombok bagian selatan (Andi Mangga dkk.,1994)

3. Data Geologi Struktur

Penggunaan data geologi struktur mengacu pada peta geologi Pulau Lombok untuk mengetahui struktur geologi sesar yang terbentuk di Sirkuit Internasional Mandalika karena pengaruh dari gaya gravitasi bumi yang diperoleh dari kajian teknis dari dinas pekerjaan umum – penataan ruang provinsi Nusa Tenggara Barat yang dikeluarkan pada bulan Agustus 2022.

4. Data Gempa Bumi

Data gempa bumi berupa peta kegempaan data gempa utama 2160 $M_w > 3.0$ selama periode 1922-2018, yang tersebar di sekitar Pulau Lombok dalam empat zona tektonik: zona subduksi, cekungan muka busur, busur magmatik, dan cekungan busur belakang yang diperoleh dari jurnal yang berjudul *An Update To Seismic Hazard Levels and Psha For Lombok and Surrounding Islands After Earthquakes In 2018* (Agustawijaya dkk. 2020) yang dikeluarkan pada bulan Oktober tahun 2019.

5. Data Geolistrik

Adapun data geolistrik diperoleh dari laporan survey geolistrik PT. Bunga Raya Lestari yang dikeluarkan pada bulan Agustus tahun 2020. Diperoleh data hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger (1D).

6. Data *Standar Penetration Test* (SPT)

Data *Standar penetration Test* (SPT) diperoleh dari PT. Wijaya Karya – PT. Pembangunan Perumahan – PT. Bunga Raya Lestari KSO – Paket Mutip 1 yang dikeluarkan pada bulan Januari tahun 2022. Standar yang digunakan dalam prosedur pengerjaan boring yaitu ASTM D-1452-80 “*Standar practice for soil investigation and sampling by auger borings*”. Dengan Jumlah titik drilling dalam pengujian sebanyak 3(tiga) titik.

7. Data *Cone Penetration Test* (SPT)

Data *Cone penetration Test* (SPT) diperoleh dari PT. Wijaya Karya yang dikeluarkan pada bulan Juni tahun 2020 dan data sondir sirkuit intenational mandalika yang di uji tanggal 27-29 September tahun 2019. Data CPT dilakukan untuk mendapatkan nilai tahanan tanah terhadap penetrasi Pengujian penetrasi sondir dilakukan dengan penetrometer mekanis model GMF, Holland, kapasitas alat ± 2.5 ton, sesuai ASTM D-3441.

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul. Selanjutnya diidentifikasi, sehingga diperoleh pemecahan masalah yang efektif dan terarah. Adapun analisis yang akan dilakukan adalah analisis data *Standar Penetration Test* (SPT) dan data *Cone Penetration Test* (CPT) dengan menggunakan metode perhitungan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dan mendapatkan besar potensi dengan metode CRR (*Cyclic Resistance Ratio*).

Adapun nantinya nilai yang menunjukkan dibagian titik penelitian tersebut aman atau tidak dari potensi likuifaksi yaitu “*Factor of Safety*” (FS). Berdasarkan dengan metode NCEER (1996) nilai Fs tersebut akan menyimpulkan potensi likuifaksi yang ada, sesuai persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3 sebagai berikut.

$$\text{Jika FS} = \frac{CRR}{CSR} < 1 \text{ (berpotensi terjadi likuifaksi)} \quad (3.1)$$

$$\text{Jika FS} = \frac{CRR}{CSR} = 1 \text{ (kondisi kritis)} \quad (3.2)$$

$$\text{Jika FS} = \frac{CRR}{CSR} > 1 \text{ (tidak berpotensi likuifaksi)} \quad (3.3)$$

3.4.1 Analisis Data SPT

Berdasarkan data SPT di irkuit International Mandalika, pada tiga titik pengeboran memiliki formasi geologi TMI yaitu bukit intrusi batuan beku, maka pengujian *standard penetration test* (SPT) tidak dilakukan. Ada beberapa teknik untuk menganalisis likuifaksi berdasarkan data SPT yaitu:

1. Berdasarkan data SPT di sirkuit international mandalika digunakan 3 titik sample
2. Menentukan apakah tanah yang akan ditinjau memiliki kecenderungan likuifaksi atau tidak
3. Tanah harus berada dibawah muka air tanah
4. Selanjutnya menentukan nilai dari *cyclic stress ratio* (CSR)
5. Dengan menggunakan nilai parameter tanah dari faktor koreksi normalisasi $(N1)_{60}$, maka dapat dihitung nilai *cyclic resistance ratio* (CRR)
6. Pada akhirnya akan didapatkan nilai faktor keamanan yang menunjukkan potensi likuifaksi.

3.4.2 Analisis Data CPT

Berdasarkan dengan pengolahan data SPT, pengolahan data CPT menganalisis dengan nilai tahanan konus (q_c) dari alat sondir (CPT). Dari analisis tersebut bisa didapatkan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) guna mendapatkan nilai faktor keamanan dengan cara membagi nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) terhadap *cyclic stress ratio* (CSR).

3.4.3 Rekapitulasi Parameter Potensi Likuifaksi

Tabel 3.1 Rekapitulasi potensi likuifaksi

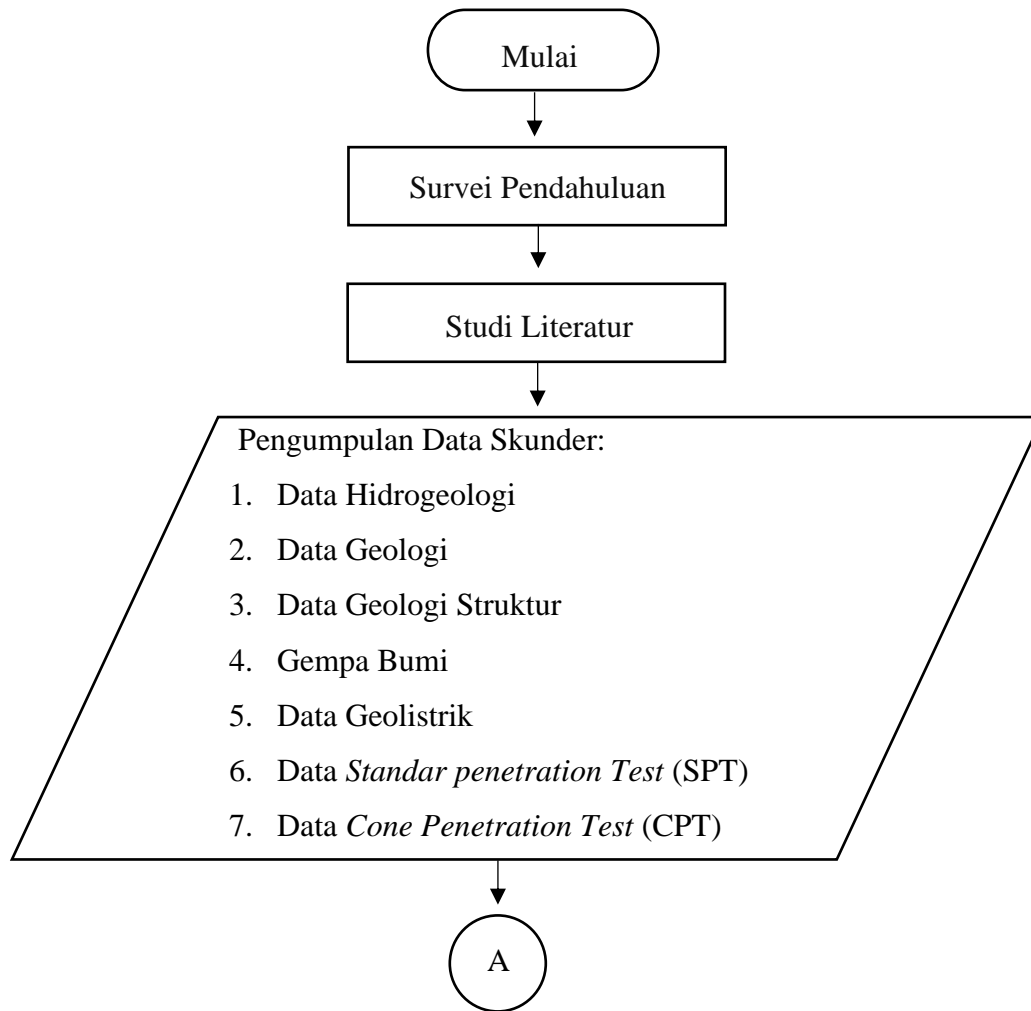
| No. | Parameter Likuifaksi | Potensi | |
|-----|----------------------|------------|-----------|
| | | <i>Yes</i> | <i>No</i> |
| 1 | Faktor keamanan SPT | | |
| 2 | Faktor keamanan CPT | | |
| 3 | Hidrogeologi | | |
| 4 | Geologi | | |
| 5 | Geologi struktur | | |
| 6 | Geolistrik | | |
| 7 | Gempa bumi | | |

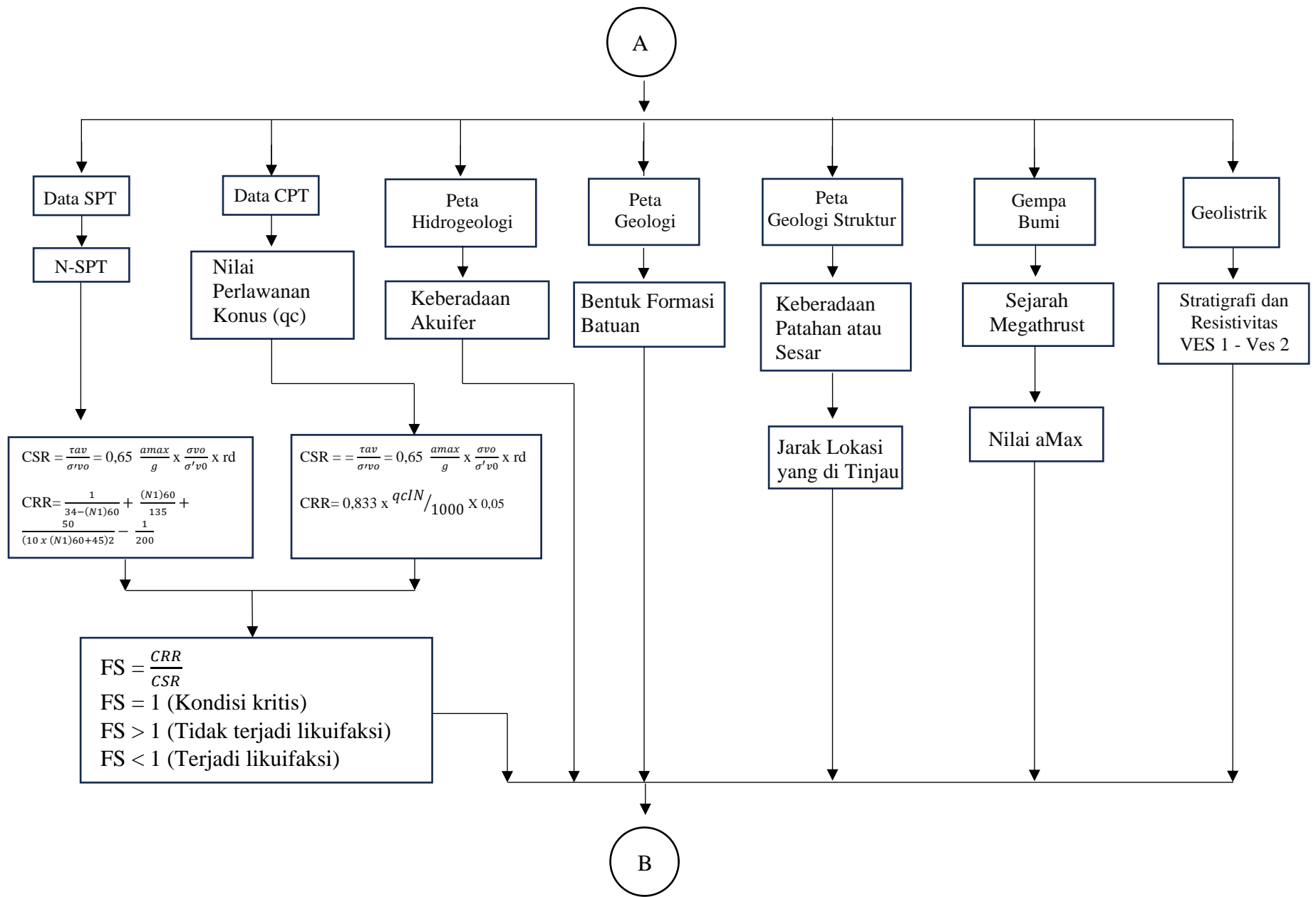
Catatan:

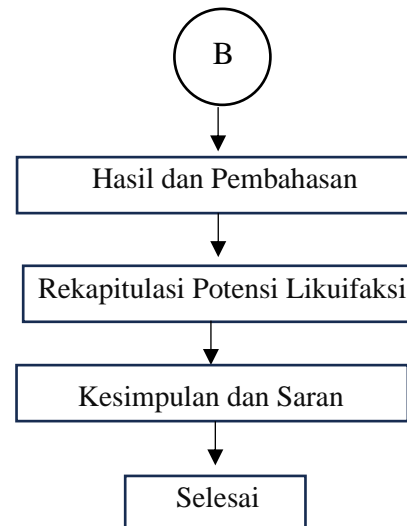
- a) Potensi (*Yes*) = Berpotensi likuifaksi
- b) Potensi (*No*) = Tidak berpotensi likuifaksi

Dalam rekapan parameter potensi terjadinya likuifaksi memiliki potensi antara *yes* dan *no*, dimana jika total nilai dari salah satu potensi *yes* lebih banyak maka dapat didefinisikan bahwa lokasi penelitian sangat berpotensi terjadinya likuifaksi, dan begitu juga sebaliknya.

3.5 Bagan Alir Penelitian







Gambar 3.6 Bagan Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

4.1.1 Data Umum

Likuifaksi merupakan fenomena dimana tanah kehilangan kekuatannya disebabkan oleh adanya getaran yang disebabkan oleh gempa bumi atau pergerakan tanah lainnya, yang mengakibatkan tanah tersebut berdeformasi dari solid menjadi cair yang diakibatkan karena meningkatnya angka pori. Pada tugas akhir ini potensi terjadinya likuifaksi akan dianalisis melalui data *Standard Penetration Test* (SPT) sebanyak 8 titik, dan menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT) sebanyak 15 titik dan data pendukung yaitu data Hidrogeologi, Geologi, Geologi Struktur, Gempa Bumi dan Geolistrik.

Sumber data pada penelitian ini di Sirkuit International Mandalika, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Di proyek pembangunan Sirkuit International Mandalika telah dilakukan survei - survei geoteknik yang nantinya akan digunakan untuk melakukan analisis potensi terjadinya likuifaksi. Adapun survei yang dilakukan pada proyek Sirkuit International Mandalika diantaranya:

1. Pengambilan data *Standard Penetration Test* (SPT) meliputi rotary drilling (pengeboran mesin), pengeboran inti (core drilling) dan pengambilan contoh (core sampling). Standar yang digunakan dalam prosedur pengerjaan boring yaitu ASTM D-1452-80 "Standar practice for soil investigation and sampling by auger borings". Jumlah titik drilling dalam pengujian ini sebanyak 8 titik. pada 3 pertama diperoleh batuan dasar andesit mulai kedalaman 0,5 m, sehingga pengujian SPT tidak bisa dilakukan, pada 3 titik berikutnya dilakukan pengeboran hingga mencapai kedalaman 15.0 meter dan pada 2 titik terakhir dilakukan hingga mencapai kedalaman masing - masing 40.0 meter.
2. Untuk data *Cone Penetration Test* (CPT) dengan nilai perlawanan konus yang beragam pada 15 titik dengan kedalaman antara yang beragam pula, untuk menentukan jenis pondasi bisa menyesuaikan hasil pada setiap titik sondir. Lokasi penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Peta lokasi penelitian
(Sumber: *Google Earth Pro*, 2023)

Untuk data *Standard Penetration Test* (SPT) diambil sebanyak 8 titik sampel pengeboran yaitu: BH – 01 A, BH – 02 A, BH – 03 A, BH – 01 B, BH – 02 B, BH – 03 B, BH – 01 C, BH – 02 C. Data tanah pada setiap titik dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data *Standard Penetration Test* (SPT)

| NO | ID | KEDALAMAN | MAT | N-SPT |
|----|----------|-----------|-----------------|-------|
| | | (m) | (m) | |
| 1 | BH - 1 A | 10 | Tidak ditemukan | 0 |
| 2 | BH - 2 A | 10 | Tidak ditemukan | 0 |
| 3 | BH - 3 A | 10 | Tidak ditemukan | 0 |
| 4 | BH - 1 B | 15 | 2.5 | 9 |
| 5 | BH - 2 B | 15 | 2 | 8 |
| 6 | BH - 3 B | 15 | 2.5 | 14 |
| 7 | BH - 1 C | 40 | 4 | 9 |
| 8 | BH - 2 C | 40 | 1 | 15 |

Pada data *Cone penetration Test* (CPT) diambil 15 titik sampel yaitu: SO – 01, SO – 02, CPT SO – 03, SO – 04, SO – 05, SO – 06, SO – 07, SO – 08, SO – 09, SO – 01 A, SO – 02 A, SO – 03 A, SO – 04 A, SO – 05 A, dan SO – 06 A. Data tanah pada setiap titik dapat dilihat pada table 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data *Cone penetration Test* (CPT)

| NO | ID | KEDALAMAN | qc (kN/m ²) | |
|----|-----------|-----------|-------------------------|-------------------|
| | | (m) | kg/cm ² | kN/m ² |
| 1 | SO - 01 | 1.20 | 76 | 7544.544 |
| 2 | SO - 02 | 15.80 | 39 | 3845.339 |
| 3 | SO - 03 | 19.00 | 38 | 3810.564 |
| 4 | SO - 04 | 18.40 | 34 | 3383.277 |
| 5 | SO - 05 | 15.00 | 57 | 5557.073 |
| 6 | SO - 06 | 4.00 | 69 | 6805.780 |
| 7 | SO - 07 | 5.80 | 61 | 6055.575 |
| 8 | SO - 08 | 5.40 | 63 | 6256.611 |
| 9 | SO - 09 | 18.00 | 60 | 5883.960 |
| 10 | SO - 01 A | 18.80 | 29 | 2883.14 |
| 11 | SO - 02 A | 18.80 | 37 | 3648.055 |
| 12 | SO - 03 A | 17.80 | 27 | 2608.556 |
| 13 | SO - 04 A | 17.80 | 32 | 3180.140 |
| 14 | SO - 05 A | 17.40 | 33 | 3252.522 |
| 15 | SO - 06 A | 16.80 | 37 | 3614.433 |

4.1.2 Daerah Gempa Bumi

Peta daerah gempa pada lokasi penelitian di di daerah Sirkuit Internasional Mandalika, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Berdasarkan peta kegempaan dan data gempa utama 2160 Mw>3.0 selama periode 1922-2018, yang tersebar di sekitar Pulau Lombok dalam empat zona tektonik. Peta wilayah gempa Lombok dapat dilihat pada Gambar 2.7.

4.1.3 Analisis Data *Standard Penetration Test* (SPT)

Perhitungan Analisis likuifaksi menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) ini menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel yang nantinya akan di masukan ke dalam grafik agar memudahkan menganalisis potensi likuifaksi pada 8 titik sampel tersebut. Adapun contoh perhitungan analisis likuifaksi dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut ini.

BH – 01 B



Data Umum:

Muka Air Tanah (MAT) = 2,5 m

Percepatan Gravitasi (g) = 9,81 m/s²

Berat Volume Air (γ_w) = 9,81 kN/m³

Kedalaman Lapisan (z) = 15 m

a max = 0,47 g

1. Perhitungan tegangan efektif (σ')

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_1) &= h \times \gamma \\ &= 1,5 \times 17,252 \\ &= 25,878 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= h_w \times \gamma_w \\ &= 0 \times 9,81 \\ &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma_1') &= \sigma - u \\ &= 25,878 - 0 \\ &= 25,878 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_1) &= \sigma_1 + (h \times \gamma) \\ &= 25,878 + (1 \times 17,252) \\ &= 43,130 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= hw \times \gamma_w \\ &= 0 \times 9,81 \\ &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma_2') &= \sigma - u \\ &= 43,130 - 0 \\ &= 43,130 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_2) &= \sigma_2 + (h \times \gamma) \\ &= 43,130 + (2,5 \times 18,728) \\ &= 89,950 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= hw \times \gamma_w \\ &= 2,5 \times 9,81 \\ &= 24,525 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma_3') &= \sigma - u \\ &= 89,950 - 24,525 \\ &= 65,425 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

d. Lapisan 4

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_3) &= \sigma_3 + (h \times \gamma) \\ &= 89,950 + (5 \times 18,728) \\ &= 183,541 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= hw \times \gamma_w \\ &= 7,5 \times 9,81 \\ &= 73,575 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma_4') &= \sigma - u \\ &= 183,541 - 73,575 \\ &= 110,015 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

e. Lapisan 5

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_4) &= \sigma_4 + (h \times \gamma) \\ &= 183,541 + (5 \times 18,728) \\ &= 277,230 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= h_w \times \gamma_w \\ &= 12,5 \times 9,81 \\ &= 122,625 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma_5') &= \sigma - u \\ &= 277,230 - 122,625 \\ &= 154,605 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai tegangan reduksi (r_d)

Nilai tegangan reduksi (r_d) dapat dihitung dengan persamaan (Liao dan Whitemann, 1986) nantinya akan memperoleh nilai rata-rata koefisien tegangan reduksi (r_d). Adapun persamaan dan syaratnya sebagai berikut:

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

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

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

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

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned}r_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 1,5 \\ &= 0,9885\end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned}r_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 2,5 \\ &= 0,9809\end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned}r_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 5,0 \\ &= 0,9618\end{aligned}$$

d. Lapisan 4

$$\begin{aligned}r_d &= 1,174 - 0,0267 \times z \\ &= 1,174 - 0,0267 \times 10,0 \\ &= 0,9070\end{aligned}$$

d. Lapisan 5

$$\begin{aligned}r_d &= 1,174 - 0,0267 \times z \\ &= 1,174 - 0,0267 \times 15,0 \\ &= 0,7735\end{aligned}$$

3. Perhitungan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Untuk menghitung nilai CSR memakai rumus persamaan Seed dan Idriss (1971), sebagai berikut ini.

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned}\text{CSR} &= 0,65 \times \left(\frac{a_{\text{max}}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \\ &= 0,65 \times \left(\frac{0,47}{9,81}\right) \times \left(\frac{25,878}{25,878}\right) \times 0,9885 \\ &= 0,0305\end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned}\text{CSR} &= 0,65 \times \left(\frac{a_{\text{max}}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \\ &= 0,65 \times \left(\frac{0,47}{9,81}\right) \times \left(\frac{43,130}{43,130}\right) \times 0,9809 \\ &= 0,0305\end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned}\text{CSR} &= 0,65 \times \left(\frac{a_{\text{max}}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \\ &= 0,65 \times \left(\frac{0,47}{9,81}\right) \times \left(\frac{89,950}{65,425}\right) \times 0,9618 \\ &= 0,0412\end{aligned}$$

d. Lapisan 4

$$\begin{aligned}\text{CSR} &= 0,65 \times \left(\frac{a_{\text{max}}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \\ &= 0,65 \times \left(\frac{0,47}{9,81}\right) \times \left(\frac{183,590}{110,015}\right) \times 0,9070 \\ &= 0,0471\end{aligned}$$

e. Lapisan 5

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0,65 \times \left(\frac{\text{amax}}{g} \right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo'}} \right) \times r_d \\ &= 0,65 \times \left(\frac{0,47}{9,81} \right) \times \left(\frac{277,230}{154,605} \right) \times 0,7735 \\ &= 0,0432 \end{aligned}$$

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

Untuk menghitung nilai CRR dapat menggunakan tabel nilai factor koreksi yang di dapatkan dari Skempton (1986) dan dengan berdasarkan persamaan teori Youd dan Idriss (1997), Sedangkan untuk rumus yang di gunakan pada (N1)60 yaitu sebagai berikut.

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

Keterangan:

CE: Faktor Rasio Energi,

CB: Faktor Diameter Lubang,

CR: Faktor Panjang Rod,

CS: Faktor Metode Sampling, dan

N_m: Faktor nilai data N-SPT.

Diketahui:

Faktor Rasio Energi (CE): 0,7 (dari tabel nilai faktor koreksi (N1)60),

Faktor Diameter Lubang (CB): 1 (dari tabel nilai faktor koreksi (N1)60),

Faktor Panjang Rod (CR): 0,75 (dari tabel nilai faktor koreksi (N1)60),

Faktor Metode Sampling (CS): 1 (dari tabel nilai faktor koreksi (N1)60)

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned} (N1)_{60} &= N_m \times CE \times CB \times CR \times CS \\ &= (N \times CN) \times CE \times CB \times CR \times CS \\ &= \left(N \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_{vo'}}{PA}} \right) \right) \times CE \times CB \times CR \times CS \\ &= \left(6 \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{25,878}{98,066}} \right) \right) \times 0,7 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\ &= 6,606 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(N1)_{60cs} &= 5 + 1,2 \times (N1)_{60} \\
&= 5 + 1,2 \times 6,606 \\
&= 12,927
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
CRR &= \frac{1}{34 - (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{10 \times (N1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - (12,927)} + \frac{12,927}{135} + \frac{50}{(10 \times 12,927 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= 0,140
\end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned}
(N1)_{60} &= Nm \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times CN) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_{VOI}}{PA}})) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (6 \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{43,130}{98,066}})) \times 0,7 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\
&= 7,160
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(N1)_{60cs} &= 5 + 1,2 \times (N1)_{60} \\
&= 5 + 1,2 \times 7,160 \\
&= 13,592
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
CRR &= \frac{1}{34 - (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{10 \times (N1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 13,592} + \frac{13,592}{135} + \frac{50}{(10 \times 13,592 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= 0,146
\end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned}
(N1)_{60} &= Nm \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times CN) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_{VOI}}{PA}})) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (7 \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{65,425}{PA}})) \times 0,7 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\
&= 9,189
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(N1)_{60cs} &= 5 + 1,2 \times (N1)_{60} \\
&= 5 + 1,2 \times 9,189 \\
&= 16,027
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
CRR &= \frac{1}{34 - (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{10 \times (N1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 16,027} + \frac{16,027}{135} + \frac{50}{(10 \times 16,027 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= 0,171
\end{aligned}$$

d. Lapisan 4

$$\begin{aligned}
(N1)_{60} &= Nm \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times CN) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_{vo} t}{PA}})) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (13 \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{110,015}{PA}})) \times 0,7 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\
&= 20,169
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(N1)_{60cs} &= 5 + 1,2 \times (N1)_{60} \\
&= 5 + 1,2 \times 20,169 \\
&= 29,203
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
CRR &= \frac{1}{34 - (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{10 \times (N1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 29,203} + \frac{29,203}{135} + \frac{50}{10 \times 29,203 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= 0,420
\end{aligned}$$

e. Lapisan 5

$$\begin{aligned}
(N1)_{60} &= Nm \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times CN) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (N \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_{vo} t}{PA}})) \times CE \times CB \times CR \times CS \\
&= (19 \times (\frac{2,2}{1,2 + \frac{154,605}{PA}})) \times 0,7 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\
&= 34,013
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(N1)_{60cs} &= 5 + 1,2 \times (N1)_{60} \\
&= 5 + 1,2 \times 34,013 \\
&= 45,816
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
CRR &= \frac{1}{34 - (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{10 \times (N1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 45,816} + \frac{45,816}{135} + \frac{50}{(10 \times 45,816 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= 0,250
\end{aligned}$$

5. Perhitungan nilai FS

Menghitung nilai FS untuk menentukan pada lokasi tersebut terjadi atau tidaknya potensi likuifaksi dapat menggunakan nilai CRR dan CSR. Berikut merupakan perhitungan angka keamanan (FS).

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned}
FS1 &= \frac{CRR}{CSR} \\
&= \frac{0,140}{0,031} \\
&= 4,543 \text{ (Tidak terjadi likuifaksi)}
\end{aligned}$$

b. Lapisan 2

$$\begin{aligned}
FS1 &= \frac{CRR}{CSR} \\
&= \frac{0,146}{0,031} \\
&= 4,787 \text{ (Tidak terjadi likuifaksi)}
\end{aligned}$$

c. Lapisan 3

$$\begin{aligned}
FS1 &= \frac{CRR}{CSR} \\
&= \frac{0,171}{0,041} \\
&= 4,142 \text{ (Tidak terjadi likuifaksi)}
\end{aligned}$$

d. Lapisan 4

$$\begin{aligned}
FS1 &= \frac{CRR}{CSR} \\
&= \frac{0,420}{0,047} \\
&= 8,915 \text{ (Tidak terjadi likuifaksi)}
\end{aligned}$$

e. Lapisan 5

$$\begin{aligned}FS1 &= \frac{CRR}{CSR} \\ &= \frac{0,250}{0,043} \\ &= 5,787 \text{ (Tidak terjadi likuifaksi)}\end{aligned}$$

Hasil dari pengolahan data diatas akan ditampilkan dengan tabel dan grafik. Pada bagian tabel akan memuat tentang perhitungan potensi likufaksi menggunakan bantuan program *Microsoft Excel* dan grafik terdiri dari 4 variabel yaitu hasil nilai CSR, CRR, FS (faktor keamanan), dan kedalaman pada titik sampel uji data.

1. BH – 01 B

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik BH- 01 B dapat dilihat dibagian Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Gambar 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Perhitungan CSR BH – 01 B

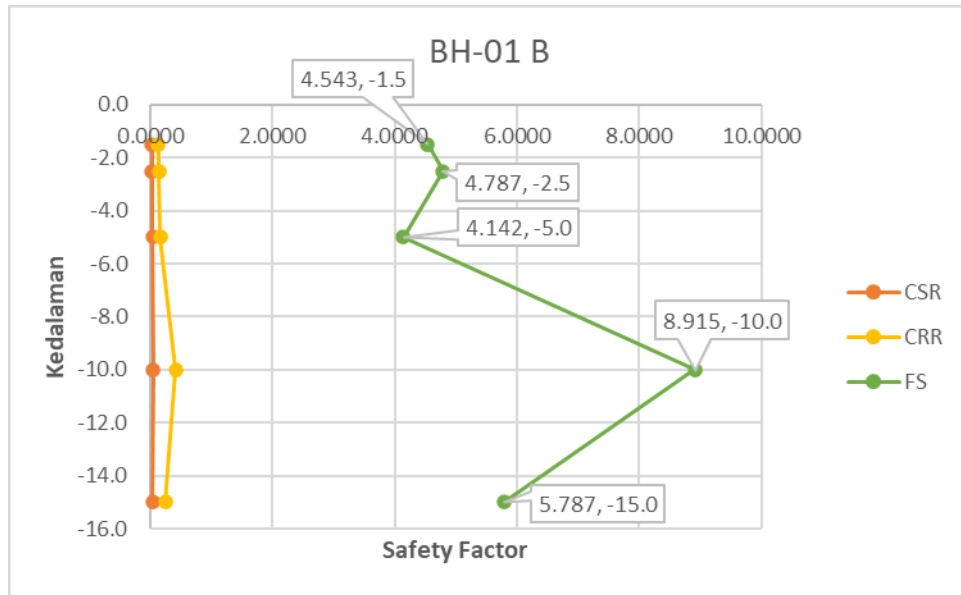
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | (a max/g) | rd | yd (kN/m3) | Tegangan Total (σ) (kN/m2) | Tek. air Pori (u) kN/m2 | Tegangan Efektif (σ') (kN/m2) | (σ/σ') | CSR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|------------|-------------------------------------|-------------------------|--|----------------------|--------|
| 1 | 0.0 - 1.5 | 1.5 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9885 | 17.252 | 25.878 | 0 | 25.8780 | 1.0000 | 0.0308 |
| 2 | 1.5 - 2.5 | 1 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9809 | 17.252 | 43.130 | 0 | 43.1300 | 1.0000 | 0.0305 |
| 3 | 2.5 - 5.0 | 2.5 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.9618 | 18.728 | 89.950 | 24.525 | 65.4250 | 1.3749 | 0.0412 |
| 4 | 5.0 -10.00 | 5 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.9070 | 18.728 | 183.590 | 73.575 | 110.0150 | 1.6688 | 0.0471 |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.7735 | 18.728 | 277.230 | 122.625 | 154.6050 | 1.7932 | 0.0432 |

Tabel 4.4 Perhitungan CRR BH – 01 B

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | N-SPT | Faktor Koreksi (N1)60 | | | | | (N1)60 | (N1)60cs | CRR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-------|-----------------------|-----|----|------|----|--------|----------|-------|
| | | | | | Cn | Ce | Cb | Cr | Cs | | | |
| 1 | 0.0 - 1.5 | 1.5 | Tanah lanau pasiran | 6 | 2.097 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 6.606 | 12.927 | 0.140 |
| 2 | 1.5 - 2.5 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 6 | 2.273 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 7.160 | 13.592 | 0.146 |
| 3 | 2.5 - 5.0 | 2.5 | Pasir pantai kasar | 7 | 2.500 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 9.189 | 16.027 | 0.171 |
| 4 | 5.0 -10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 13 | 2.955 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 20.169 | 29.203 | 0.420 |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 19 | 3.410 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 34.013 | 45.816 | 0.250 |

Tabel 4.5 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 01 B

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | CSR | CRR | FS | Status |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|--------|-------|-------|--------------------------|
| 1 | 0.0 - 1.5 | 1.5 | Tanah lanau pasiran | 0.0308 | 0.140 | 4.543 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 1.5 - 2.5 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0.0305 | 0.146 | 4.787 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 2.5 - 5.0 | 2.5 | Pasir pantai kasar | 0.0412 | 0.171 | 4.142 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4 | 5.0 -10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.0471 | 0.420 | 8.915 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.0432 | 0.250 | 5.787 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.2 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 01 B

Dari perhitungan data SPT pada titik sampel BH – 01 B di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.2 yang dimana terdiri dari hasil perhitungan CSR, CRR, FS dan Kedalaman lapisan pada titik sampel. Nilai FS = 1 menjadi acuan terjadinya potensi likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, nilai FS sama dengan 1 makadalam kondisi kritis, dan nilai FS yang melebihi dari 1 tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada titik sampel BH – 01 B yang memiliki 5 lapisan dengan beda tinggi yang beragam mendapatkan hasil FS lebih dari 1, dimana artinya pada 5 lapisan di titik sampel BH – 01 B tersebut tidak berpotensi terjadinya likuifaksi.

2. BH – 02 B

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik BH- 02 B dapat dilihat dibagian Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8, dan Gambar 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Perhitungan CSR BH – 02 B

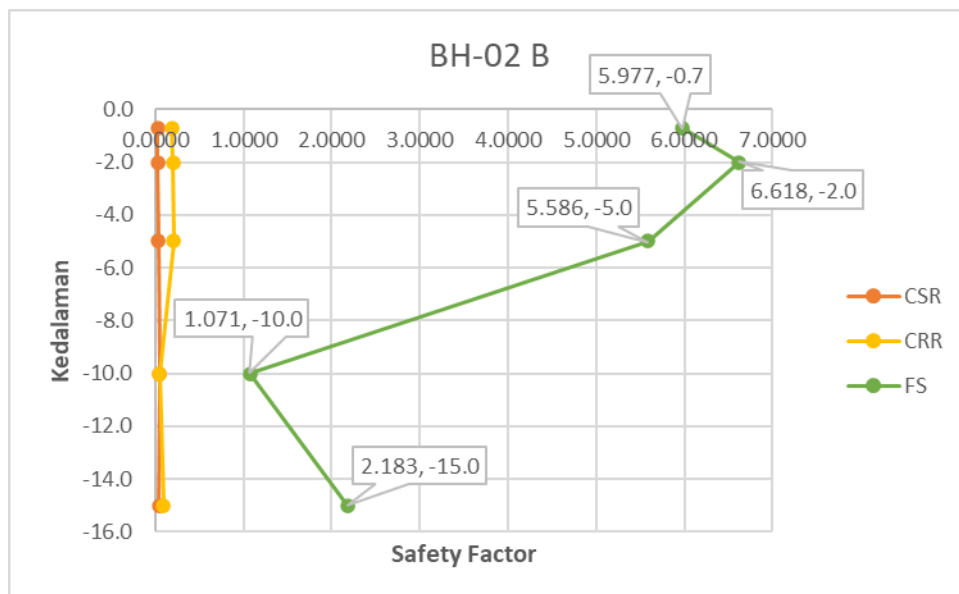
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | (a max/g) | rd | yd | Tegangan Total (σ) | Tek. air Pori (u) | Tegangan Efektif (σ') | (σ/σ') | CSR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|----------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | | | (kN/m3) | (kN/m2) | kN/m2 | (kN/m2) | | |
| 1 | 0.0 - 0.7 | 0.7 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9946 | 18.824 | 13.177 | 0 | 13.1768 | 1.0000 | 0.0310 |
| 2 | 0.7 - 2.0 | 1.3 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9847 | 18.824 | 37.648 | 0 | 37.6480 | 1.0000 | 0.0307 |
| 3 | 2.0 - 5.0 | 3.0 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.9618 | 18.728 | 93.832 | 19.620 | 74.2120 | 1.2644 | 0.0379 |
| 4 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.9070 | 18.728 | 187.472 | 78.480 | 108.9920 | 1.7201 | 0.0486 |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.7735 | 18.728 | 281.112 | 127.530 | 153.5820 | 1.8304 | 0.0441 |

Tabel 4.7 Perhitungan CRR BH – 02 B

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | N-SPT | Faktor Koreksi (N1)60 | | | | | (N1)60 | (N1)60cs | CRR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-------|-----------------------|-----|----|------|----|--------|----------|-------|
| | | | | | Cn | Ce | Cb | Cr | Cs | | | |
| 1 | 0.0 - 0.7 | 0.7 | Tanah lanau pasiran | 10 | 1.968 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 10.330 | 17.397 | 0.185 |
| 2 | 0.7 - 2.0 | 1.3 | Tanah lanau pasiran | 10 | 2.217 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 11.640 | 18.969 | 0.203 |
| 3 | 2.0 - 5.0 | 3.0 | Pasir pantai kasar | 9 | 2.590 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 12.238 | 19.686 | 0.212 |
| 4 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 18 | 2.945 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 27.828 | 38.393 | 0.052 |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 16 | 3.399 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 28.555 | 39.266 | 0.096 |

Tabel 4.8 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 02 B

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | CSR | CRR | FS | Status |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|--------|-------|-------|--------------------------|
| 1 | 0.0 - 0.7 | 0.7 | Tanah lanau pasiran | 0.0310 | 0.185 | 5.977 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 0.7 - 2.0 | 1.3 | Tanah lanau pasiran | 0.0307 | 0.203 | 6.618 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 2.0 - 5.0 | 3.0 | Pasir pantai kasar | 0.0379 | 0.212 | 5.586 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.0486 | 0.052 | 1.071 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.0441 | 0.096 | 2.183 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.3 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 02 B

Dari perhitungan data SPT pada titik sampel BH – 02 B di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.3 yang dimana terdiri dari hasil perhitungan CSR, CRR, FS dan Kedalaman lapisan pada titik sampel. Nilai FS = 1 menjadi acuan terjadinya potensi likuifaksi atau tidak, apanila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, nilai FS sama dengan 1 makadalam kondisi kritis, dan nilai FS yang melebihi dari 1 tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada titik sampel BH – 02 B yang memiliki 5 lapisan dengan beda tinggi yang beragam mendapatkan hasil FS lebih dari 1, dimana artinya pada 5 lapisan di titik sampel BH – 02 B tersebut tidak berpotensi terjadinya likuifaksi.

3. BH – 03 B

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik BH- 02 B dapat dilihat dibagian Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, dan Gambar 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Perhitungan CSR BH – 03 B

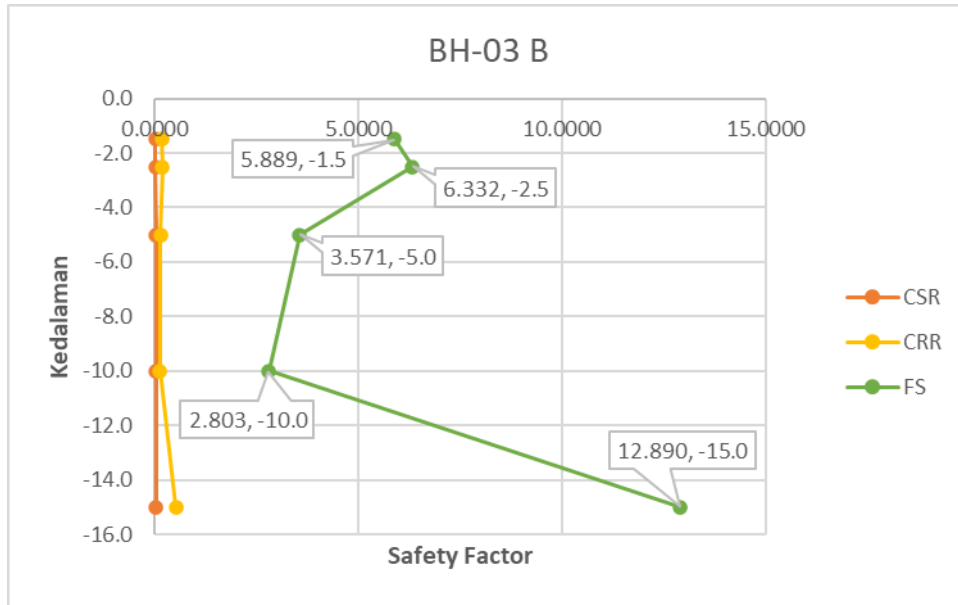
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | (a max/g) | rd | yd | Tegangan Total (σ) | Tek. air Pori (u) | Tegangan Efektif (σ') | (σ/σ') | CSR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | | | (kN/m ³) | (kN/m ²) | kN/m ² | (kN/m ²) | | |
| 1 | 0.0 - 1.5 | 1.5 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9885 | 19 | 28.500 | 0 | 28.5000 | 1.0000 | 0.0308 |
| 2 | 1.5 - 2.5 | 1 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9809 | 19 | 47.500 | 0 | 47.5000 | 1.0000 | 0.0305 |
| 3 | 2.5 - 5.0 | 2.5 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.9618 | 19.913 | 97.283 | 24.525 | 72.7575 | 1.3371 | 0.0400 |
| 4 | 5.0 - 10.00 | 5 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.9070 | 19.913 | 196.848 | 73.575 | 123.2725 | 1.5968 | 0.0451 |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5 | Pasir pantai kasar | 0.47 | 0.7735 | 19.913 | 296.413 | 122.625 | 173.7875 | 1.7056 | 0.0411 |

Tabel 4.10 Perhitungan CRR BH – 03 B

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | N-SPT | Faktor Koreksi (N1)60 | | | | | (N1)60 | (N1)60cs | CRR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-------|-----------------------|-----|----|------|----|--------|----------|-------|
| | | | | | Cn | Ce | Cb | Cr | Cs | | | |
| 1 | 0.0 - 1.5 | 1.5 | Tanah lanau pasiran | 9 | 2.124 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 10.036 | 17.043 | 0.181 |
| 2 | 1.5 - 2.5 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 9 | 2.318 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 10.951 | 18.141 | 0.193 |
| 3 | 2.5 - 5.0 | 2.5 | Pasir pantai kasar | 13 | 2.575 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 17.576 | 26.091 | 0.143 |
| 4 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 18 | 3.090 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 29.204 | 40.045 | 0.126 |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 31 | 3.605 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 58.679 | 75.415 | 0.530 |

Tabel 4.11 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 03 B

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | CSR | CRR | FS | Status |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|--------|-------|--------|--------------------------|
| 1 | 0.0 - 1.5 | 1.5 | Tanah lanau pasiran | 0.0308 | 0.181 | 5.889 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 1.5 - 2.5 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0.0305 | 0.193 | 6.332 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 2.5 - 5.0 | 2.5 | Pasir pantai kasar | 0.0400 | 0.143 | 3.571 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.0451 | 0.126 | 2.803 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Pasir pantai kasar | 0.0411 | 0.530 | 12.890 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.4 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 03 B

Dari perhitungan data SPT pada titik sampel BH – 03 B di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.4 yang dimana terdiri dari hasil perhitungan CSR, CRR, FS dan Kedalaman lapisan pada titik sampel. Nilai FS = 1 menjadi acuan terjadinya potensi likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, nilai FS sama dengan 1 makadalam kondisi kritis, dan nilai FS yang melebihi dari 1 tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada titik sampel BH – 03 B yang memiliki 5 lapisan dengan beda tinggi yang beragam mendapatkan hasil FS lebih dari 1, dimana artinya pada 5 lapisan di titik sampel BH – 03 B tersebut tidak berpotensi terjadinya likuifaksi.

4. BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik BH - 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.12, Tabel 4.13, Tabel 4.14, Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.12 Perhitungan CSR BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A

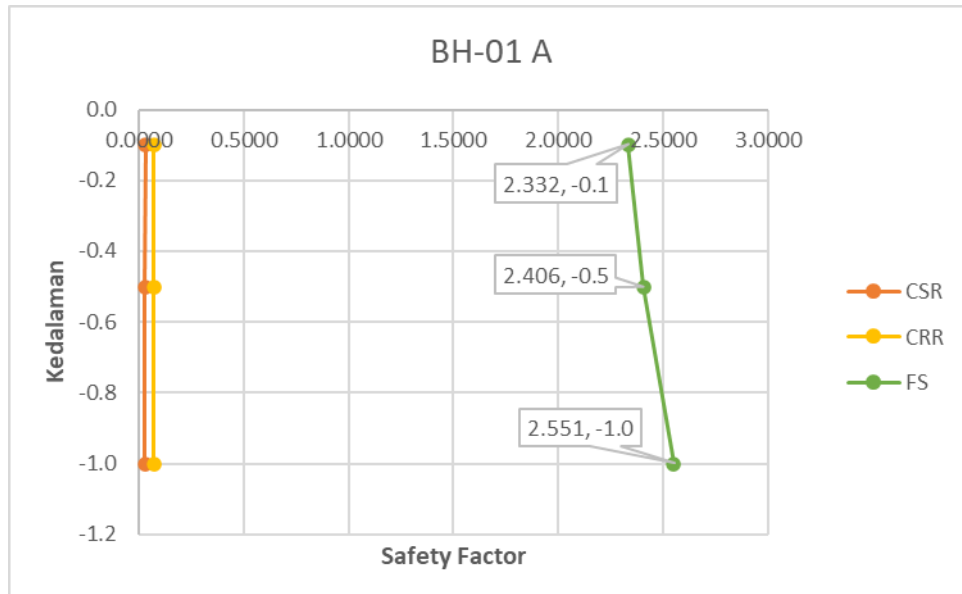
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | (a max/g) | rd | yd | Tegangan Total (σ) | Tek. air Pori (u) | Tegangan Efektif (σ') | (σ/σ') | CSR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|----------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | | | (kN/m3) | (kN/m2) | kN/m2 | (kN/m2) | | |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah Pasir | 0.47 | 0.9924 | 13.086 | 13.086 | 0 | 13.0860 | 1.0000 | 0.0309 |
| 2 | 1.0 - 5.0 | 5.0 | Batuan beku | 0.47 | 0.9618 | 13.086 | 78.516 | 0 | 78.5160 | 1.0000 | 0.0300 |
| 3 | 5.0 - 10.0 | 5.0 | Batuan beku | 0.47 | 0.9070 | 15.725 | 157.141 | 0 | 157.1410 | 1.0000 | 0.0282 |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah Pasir | 0.47 | 0.9924 | 13.086 | 13.086 | 0 | 13.0860 | 1.0000 | 0.0309 |
| 2 | 1.0 - 5.0 | 5.0 | Batuan beku | 0.47 | 0.9618 | 13.086 | 78.516 | 0 | 78.5160 | 1.0000 | 0.0300 |
| 3 | 5.0 - 10.0 | 5.0 | Batuan beku | 0.47 | 0.9070 | 15.725 | 157.141 | 0 | 157.1410 | 1.0000 | 0.0282 |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah Pasir | 0.47 | 0.9924 | 13.086 | 13.086 | 0 | 13.0860 | 1.0000 | 0.0309 |
| 2 | 1.0 - 5.0 | 5.0 | Batuan beku | 0.47 | 0.9618 | 13.086 | 78.516 | 0 | 78.5160 | 1.0000 | 0.0300 |
| 3 | 5.0 - 10.0 | 5.0 | Batuan beku | 0.47 | 0.9070 | 15.725 | 157.141 | 0 | 157.1410 | 1.0000 | 0.0282 |

Tabel 4.13 Perhitungan CRR BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A

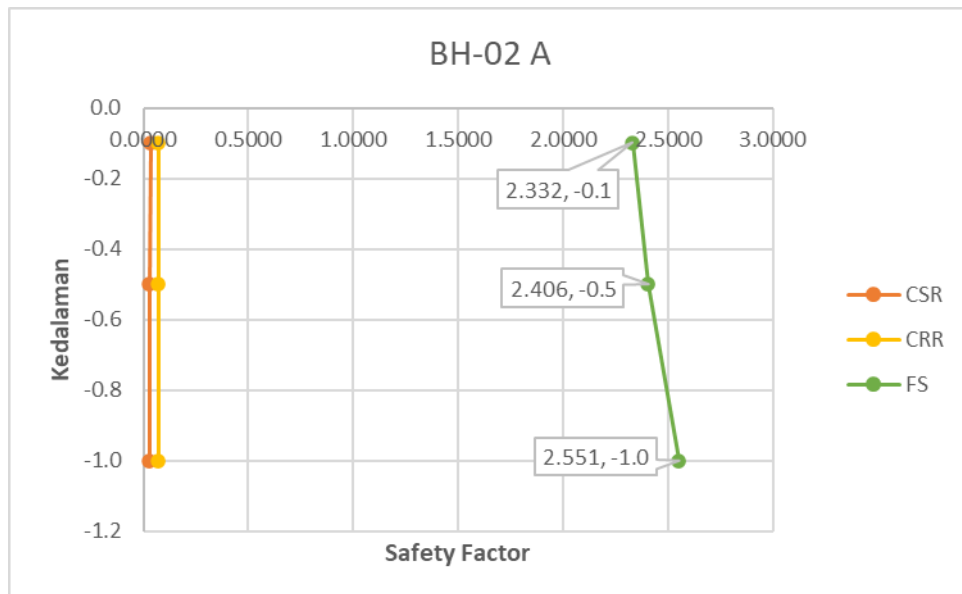
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | N-SPT | Faktor Koreksi (N1)60 | | | | | (N1)60 | (N1)60cs | CRR |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|-------|-----------------------|-----|----|------|----|--------|----------|-------|
| | | | | | Cn | Ce | Cb | Cr | Cs | | | |
| 1 | 0.0 - 0.1 | 0.1 | Tanah Pasir | 0 | 1.834 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 2 | 0.1 - 0.5 | 0.4 | Batuan beku | 0 | 1.834 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 3 | 0.5 - 0.10 | 0.5 | Batuan beku | 0 | 1.834 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 1 | 0.0 - 0.1 | 0.1 | Tanah Pasir | 0 | 1.967 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 2 | 0.1 - 0.5 | 0.5 | Batuan beku | 0 | 2.634 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 3 | 0.5 - 0.10 | 0.5 | Batuan beku | 0 | 3.436 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 1 | 0.0 - 0.4 | 0.4 | Tanah Pasir | 0 | 1.967 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 2 | 0.4 - 0.5 | 0.1 | Batuan beku | 0 | 2.634 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 3 | 0.5 - 0.10 | 0.5 | Batuan beku | 0 | 3.436 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |

Tabel 4.14 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A

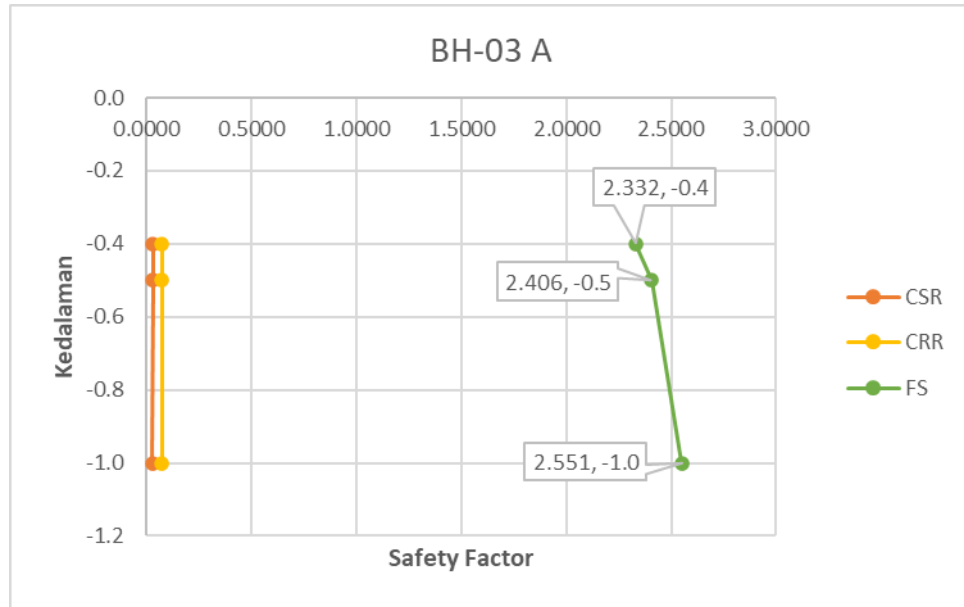
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | CSR | CRR | FS | Status |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|--------|-------|-------|--------------------------|
| 1 | 0.0 - 0.1 | 0.1 | Tanah Pasir | 0.0309 | 0.072 | 2.332 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 0.1 - 0.5 | 0.5 | Batuan beku | 0.0300 | 0.072 | 2.406 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 0.5 - 1.0 | 0.5 | Batuan beku | 0.0282 | 0.072 | 2.551 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1 | 0.0 - 0.1 | 0.1 | Tanah Pasir | 0.0309 | 0.072 | 2.332 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 0.1 - 0.5 | 0.5 | Batuan beku | 0.0300 | 0.072 | 2.406 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 0.5 - 1.0 | 0.5 | Batuan beku | 0.0282 | 0.072 | 2.551 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1 | 0.0 - 0.4 | 0.1 | Tanah Pasir | 0.0309 | 0.072 | 2.332 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 0.4 - 0.5 | 0.5 | Batuan beku | 0.0300 | 0.072 | 2.406 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 0.5 - 1.0 | 0.5 | Batuan beku | 0.0282 | 0.072 | 2.551 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.5 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 01 A



Gambar 4.6 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 02 A



Gambar 4.7 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 03 A

Dari perhitungan data SPT pada titik sampel BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7 yang dimana terdiri dari hasil perhitungan CSR, CRR, FS dan Kedalaman lapisan pada titik sampel. Nilai FS = 1 menjadi acuan terjadinya potensi likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, nilai FS sama dengan 1 maka dalam kondisi kritis, dan nilai FS yang melebihi dari 1 tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada titik sampel BH – 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A yang memiliki masing – masing 3 lapisan dengan beda tinggi yang beragam mendapatkan hasil FS lebih dari 1, dimana artinya pada 3 lapisan di titik sampel BH – 02 B tersebut tidak berpotensi terjadinya likuifaksi.

5. BH – 01 C

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik BH - 01 A, BH – 02 A, dan BH – 03 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.15, Tabel 4.16, Tabel 4.17, Gambar 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.15 Perhitungan CSR BH – 01 C

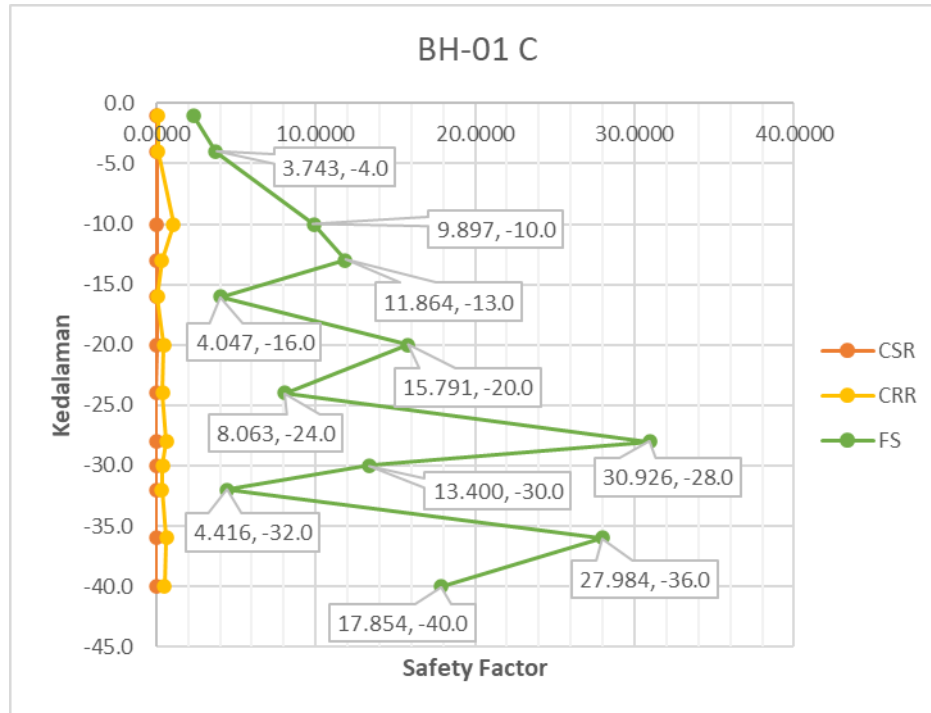
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | (a max/g) | rd | yd | Tegangan Total (σ) | Tek. air Pori (u) | Tegangan Efektif (σ') | (σ/σ') | CSR |
|---------|---------------|-----------------|------------------------------|-----------|--------|----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | | | (kN/m ³) | (kN/m ²) | kN/m ² | (kN/m ²) | | |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9924 | 13.086 | 32.350 | 0 | 32.3500 | 1.0000 | 0.0309 |
| 2 | 1.0 - 4.0 | 3.0 | Lempung abu - abu | 0.47 | 0.9694 | 17.252 | 84.106 | 0 | 84.1060 | 1.0000 | 0.0302 |
| 3 | 4.0 - 10.00 | 6.0 | Pasir endapan pantai | 0.47 | 0.9070 | 18.014 | 192.190 | 39.240 | 152.9500 | 1.2566 | 0.0355 |
| 4 | 10.00 - 13.00 | 3.0 | Pasir lanau abu - abu | 0.47 | 0.8269 | 18 | 246.190 | 0 | 246.1900 | 1.0000 | 0.0258 |
| 5 | 13.00 - 16.00 | 3.0 | Pasir kasar abu - abu | 0.47 | 0.7468 | 16.841 | 296.713 | 0 | 296.7130 | 1.0000 | 0.0233 |
| 6 | 16.00 - 20.00 | 4.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.47 | 0.6400 | 19 | 372.713 | 0 | 372.7130 | 1.0000 | 0.0199 |
| 7 | 20.00 - 24.00 | 4.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.47 | 0.5820 | 19 | 448.713 | 0 | 448.7130 | 1.0000 | 0.0181 |
| 8 | 24.00 -28.00 | 4.0 | Pasir kasar | 0.47 | 0.5500 | 20.361 | 530.157 | 0 | 530.1570 | 1.0000 | 0.0171 |
| 9 | 28.00 - 30.00 | 2.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.47 | 0.5340 | 18.824 | 567.805 | 0 | 567.8050 | 1.0000 | 0.0166 |
| 10 | 30.00 - 32.00 | 2.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.47 | 0.5180 | 18.824 | 605.453 | 0 | 605.4530 | 1.0000 | 0.0161 |
| 11 | 32.00 - 36.00 | 4.0 | Pasir kasar | 0.47 | 0.4860 | 20.361 | 686.897 | 0 | 686.8970 | 1.0000 | 0.0151 |
| 12 | 36.00 - 40.00 | 4.0 | Pasir kasar | 0.47 | 0.4540 | 18.824 | 762.193 | 0 | 762.1930 | 1.0000 | 0.0141 |

Tabel 4.16 Perhitungan CRR BH – 01 C

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | N-SPT | Faktor Koreksi (N1)60 | | | | | (N1)60 | (N1)60cs | CRR |
|---------|---------------|-----------------|------------------------------|-------|-----------------------|-----|----|------|----|--------|----------|-------|
| | | | | | Cn | Ce | Cb | Cr | Cs | | | |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 3 | 2.163 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 3.407 | 9.088 | 0.105 |
| 2 | 1.0 - 4.0 | 3.0 | Lempung abu - abu | 3 | 2.691 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 4.238 | 10.086 | 0.114 |
| 3 | 4.0 - 10.00 | 6.0 | Pasir endapan pantai | 13 | 3.393 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 23.157 | 32.789 | 1.064 |
| 4 | 10.00 - 13.00 | 3.0 | Pasir lanau abu - abu | 5 | 4.344 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 11.402 | 18.683 | 0.361 |
| 5 | 13.00 - 16.00 | 3.0 | Pasir kasar abu - abu | 11 | 4.859 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 28.061 | 38.673 | 0.068 |
| 6 | 16.00 - 20.00 | 4.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 18 | 5.634 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 53.241 | 68.889 | 0.477 |
| 7 | 20.00 - 24.00 | 4.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 14 | 6.409 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 47.106 | 61.527 | 0.415 |
| 8 | 24.00 -28.00 | 4.0 | Pasir kasar | 19 | 7.239 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 72.214 | 91.656 | 0.657 |
| 9 | 28.00 - 30.00 | 2.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 5 | 7.623 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 20.011 | 29.014 | 0.411 |
| 10 | 30.00 - 32.00 | 2.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 10 | 8.007 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 42.038 | 55.446 | 0.359 |
| 11 | 32.00 - 36.00 | 4.0 | Pasir kasar | 15 | 8.838 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 69.597 | 88.517 | 0.632 |
| 12 | 36.00 - 40.00 | 4.0 | Pasir kasar | 10 | 9.606 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 50.429 | 65.515 | 0.539 |

Tabel 4.17 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 01 C

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | CSR | CRR | FS | Status |
|---------|---------------|-----------------|------------------------------|--------|-------|--------|--------------------------|
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0.0309 | 0.105 | 2.332 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 1.0 - 4.0 | 3.0 | Lempung abu - abu | 0.0302 | 0.114 | 3.743 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 4.0 - 10.00 | 6.0 | Pasir endapan pantai | 0.0355 | 1.064 | 9.897 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4 | 10.00 - 13.00 | 3.0 | Pasir lanau abu - abu | 0.0258 | 0.361 | 11.864 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5 | 13.00 - 16.00 | 3.0 | Pasir kasar abu - abu | 0.0233 | 0.068 | 4.047 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 6 | 16.00 - 20.00 | 4.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.0199 | 0.477 | 15.791 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 7 | 20.00 - 24.00 | 4.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.0181 | 0.415 | 8.063 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 8 | 24.00 - 28.00 | 4.0 | Pasir kasar | 0.0171 | 0.657 | 30.926 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 9 | 28.00 - 30.00 | 2.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.0166 | 0.411 | 13.400 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 10 | 30.00 - 32.00 | 2.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.0161 | 0.359 | 4.416 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 11 | 32.00 - 36.00 | 4.0 | Pasir kasar | 0.0151 | 0.632 | 27.984 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 12 | 36.00 - 40.00 | 4.0 | Pasir kasar | 0.0141 | 0.539 | 17.854 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.8 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 01 C

Dari perhitungan data SPT pada titik sampel BH – 01 C di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.8 yang dimana terdiri dari hasil perhitungan CSR, CRR, FS dan Kedalaman lapisan pada titik sampel. Nilai FS = 1 menjadi acuan terjadinya potensi likuifaksi atau tidak, apanila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, nilai FS sama dengan 1 makadalam kondisi kritis, dan nilai FS yang melibihi dari 1 tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada titik sampel BH – 01 C yang memiliki 12 lapisan dengan beda tinggi yang beragam mendapatkan hasil FS lebih dari 1, dimana artinya pada 12 lapisan di titik sampel BH – 01 C tersebut semuanya tidak berpotensi terjadinya likuifaksi.

6. BH – 02 C

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik BH – 02 C dilihat dibagian Tabel 4.18, Tabel 4.19, Tabel 4.20, Gambar 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.18 Perhitungan CSR BH – 02 C

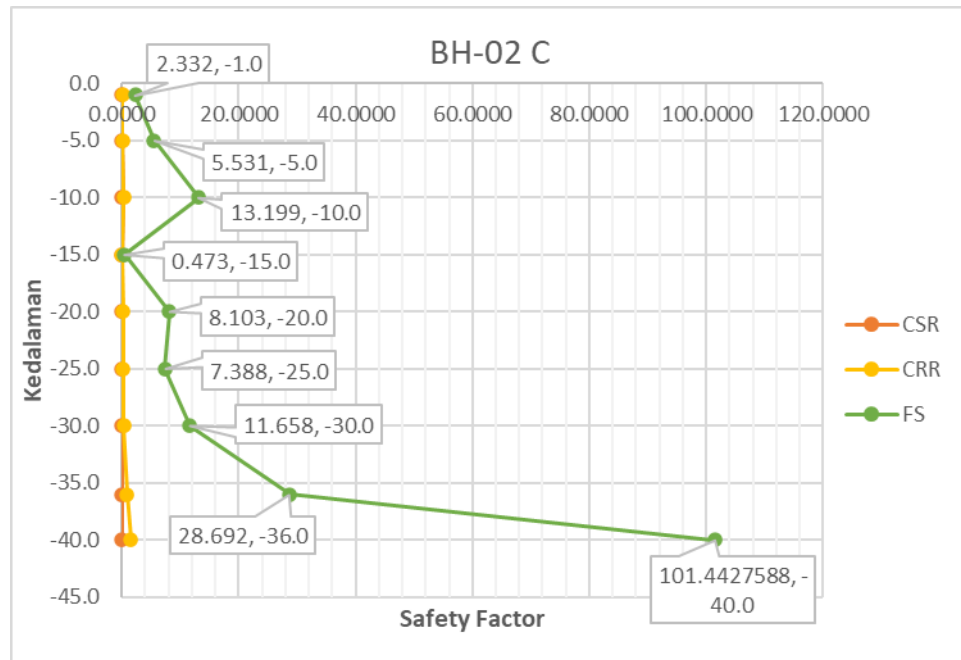
| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | (a max/g) | rd | yd | Tegangan Total (σ) | Tek. air Pori (u) | Tegangan Efektif (σ') | (σ/σ') | CSR |
|---------|---------------|-----------------|------------------------------|-----------|--------|----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | | | (kN/m ³) | (kN/m ²) | kN/m ² | (kN/m ²) | | |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0.47 | 0.9924 | 13.086 | 110.450 | 0 | 110.4500 | 1.0000 | 0.0309 |
| 2 | 1.0 - 5.0 | 4.0 | Pasir endapan pantai | 0.47 | 0.9618 | 20.211 | 191.294 | 9.810 | 181.4840 | 1.0541 | 0.0316 |
| 3 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir endapan pantai | 0.47 | 0.9235 | 20.211 | 292.349 | 98.100 | 194.2490 | 1.5050 | 0.0433 |
| 4 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 0.47 | 0.8853 | 19.124 | 387.969 | 0 | 387.9690 | 1.0000 | 0.0276 |
| 5 | 15.00 - 20.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 0.47 | 0.8470 | 19.124 | 483.589 | 0 | 483.5890 | 1.0000 | 0.0264 |
| 6 | 20.00 - 25.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 0.47 | 0.8088 | 19.124 | 579.209 | 0 | 579.2090 | 1.0000 | 0.0252 |
| 7 | 25.00 - 30.00 | 5.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.47 | 0.7705 | 19.111 | 674.764 | 0 | 674.7640 | 1.0000 | 0.0240 |
| 8 | 30.00 - 36.00 | 6.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.47 | 0.7246 | 19.542 | 792.016 | 0 | 792.0160 | 1.0000 | 0.0226 |
| 9 | 36.00 - 40.00 | 4.0 | Pasir Kasar | 0.47 | 0.6940 | 22.617 | 882.484 | 0 | 882.4840 | 1.0000 | 0.0216 |

Tabel 4.19 Perhitungan CRR BH – 02 C

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | N-SPT | Faktor Koreksi (N1)60 | | | | | (N1)60 | (N1)60cs | CRR |
|---------|---------------|-----------------|------------------------------|-------|-----------------------|-----|----|------|----|---------|----------|-------|
| | | | | | Cn | Ce | Cb | Cr | Cs | | | |
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0 | 2.960 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 0.000 | 5.000 | 0.072 |
| 2 | 1.0 - 5.0 | 4.0 | Pasir endapan pantai | 15 | 3.684 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 29.011 | 39.813 | 0.167 |
| 3 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir endapan pantai | 20 | 3.814 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 40.048 | 53.058 | 0.336 |
| 4 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 9 | 5.790 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 27.356 | 37.827 | 0.014 |
| 5 | 15.00 - 20.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 4 | 6.765 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 14.206 | 22.047 | 0.243 |
| 6 | 20.00 - 25.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 8 | 7.740 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 32.507 | 44.008 | 0.221 |
| 7 | 25.00 - 30.00 | 5.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 9 | 8.714 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 41.174 | 54.409 | 0.349 |
| 8 | 30.00 - 36.00 | 6.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 18 | 9.910 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 93.647 | 117.376 | 0.852 |
| 9 | 36.00 - 40.00 | 4.0 | Pasir Kasar | 31 | 10.832 | 0.7 | 1 | 0.75 | 1 | 176.294 | 216.553 | 1.594 |

Tabel 4.20 Hasil Analisis Potensi Likuifaksi BH – 02 C

| Lapisan | Kedalaman (m) | Beda Tinggi (m) | Jenis Lapisan Tanah | CSR | CRR | FS | Status |
|---------|---------------|-----------------|------------------------------|--------|-------|----------|--------------------------|
| 1 | 0.0 - 1.0 | 1.0 | Tanah lanau pasiran | 0.0309 | 0.072 | 2.332 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2 | 1.0 - 5.0 | 4.0 | Pasir endapan pantai | 0.0316 | 0.167 | 5.531 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3 | 5.0 - 10.00 | 5.0 | Pasir endapan pantai | 0.0433 | 0.336 | 13.199 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4 | 10.00 - 15.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 0.0276 | 0.014 | 0.473 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5 | 15.00 - 20.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 0.0264 | 0.243 | 8.103 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 6 | 20.00 - 25.00 | 5.0 | Lempung abu - abu | 0.0252 | 0.221 | 7.388 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 7 | 25.00 - 30.00 | 5.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.0240 | 0.349 | 11.658 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 8 | 30.00 - 36.00 | 6.0 | Pasir kasar mengandung lanau | 0.0226 | 0.852 | 28.692 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 9 | 36.00 - 40.00 | 4.0 | Pasir Kasar | 0.0216 | 1.594 | 101.4428 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.9 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman BH – 02 C

Dari perhitungan data SPT pada titik sampel BH – 02 C di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.9 yang dimana terdiri dari hasil perhitungan CSR, CRR, FS dan Kedalaman lapisan pada titik sampel. Nilai FS = 1 menjadi acuan terjadinya potensi likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, nilai FS sama dengan 1 maka dalam kondisi kritis, dan nilai FS yang melebihi dari 1 tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada titik sampel BH – 02 C yang memiliki 12 lapisan dengan beda tinggi yang beragam mendapatkan hasil FS lebih dari 1, dimana artinya pada 12 lapisan di titik sampel BH – 02 C tersebut semuanya tidak berpotensi terjadinya likuifaksi.

4.1.4 Analisis Data *Cone Penetration Test* (CPT)

Dalam menganalisis data *Cone Penetration Test* (CPT) diperlukan data tahanan ujung konus (q_c). Dari nilai tahanan ujung konus (q_c) tersebut dapat dianalisis nilai friksi dan jumlah hambatan lekat pada suatu lapisan tanah. Dari nilai (q_c) juga didapatkan nilai CRR yang dimana nilai ini dapat mewakili nilai ketahanan tanah terhadap beban siklik akibat gempa, dari analisis ini nantinya akan disajikan grafik yang diolah berdasarkan nilai (q_c) untuk analisis perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

CPT SO – 01 A

1. Perhitungan tegangan efektif (σ')

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_1) &= h \times \gamma \\ &= 1,8 \times 14,321 \\ &= 25,778 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= h_w \times \gamma_w \\ &= 0 \times 9,81 \\ &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma_1') &= \sigma - u \\ &= 25,778 - 0 \\ &= 25,778 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai reduksi tegangan (r_d)

Adapun persamaan dan syarat yang di berlakukan yaitu:

$$\begin{aligned}r_d &= 1,0 - 0,00765Z \text{ untuk } Z \leq 9,15 \text{ m} \\ r_d &= 1,174 - 0,0267Z \text{ untuk } 9,15 \text{ m} < Z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0,774 - 0,008z \text{ untuk } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0,5 \text{ untuk } z \geq 30 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_d &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ r_d &= 1,0 - 0,00765 \times 1,8 \\ &= 0,986\end{aligned}$$

3. Perhitungan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

$$\begin{aligned}\text{CSR} &= 0,65 \times \left(\frac{a_{\max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}'}\right) \times r_d \\ &= 0,65 \times \left(\frac{0,47}{9,81}\right) \times \left(\frac{25,778}{25,778}\right) \times 0,986 \\ &= 0,031\end{aligned}$$

4. Perhitungan nilai Q

Nilai dari q_c didapatkan dari data di Sirkuit Internasional Mandalika, yang di konfersikan dari satuan kg/cm^2 menjadi kN/cm^2 , sedangkan untuk nilai P_a itu $1 \text{ kg/cm}^2 = 98,0665 \text{ kN/cm}^2$.

$$\begin{aligned} Q &= \left(\frac{q_c - \sigma_{vo}}{P_a} \right) \times \left(\frac{P_a}{\sigma_{vo'}} \right)^n \\ &= \left(\frac{2059,386 - 2,70}{98,0665} \right) \times \left(\frac{98,0665}{25,778} \right)^{0,5} \\ &= 40,447 \end{aligned}$$

5. Perhitungan F

$$\begin{aligned} F &= \left(\frac{(fs)}{(q_c - \sigma_{vo})} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{(12,749)}{(2059,386 - 25,778)} \right) \times 100\% \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

6. Perhitungan nilai I_c

$$\begin{aligned} I_c &= ((3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2)^{0,5} \\ &= ((3,47 - \log 40,447)^2 + (1,22 + \log 0,006)^2)^{0,5} \\ &= 2,427 \end{aligned}$$

7. Perhitungan nilai C_q

$$\begin{aligned} C_q &= \left(\frac{P_a}{\sigma_{vo'}} \right)^n \\ &= \left(\frac{98,0665}{25,778} \right)^{0,5} \\ &= 1,950 \end{aligned}$$

8. Perhitungan $q_{c_{IN}}$

$$\begin{aligned} q_{c_{IN}} &= C_q \times \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \\ &= 1,950 \times \left(\frac{2059,386}{98,0665} \right) \\ &= 40,460 \end{aligned}$$

9. Perhitungan K_c

$$\begin{aligned} K_c &= -0,403(I_c)^4 + 5,581(I_c)^3 - 21,6312(I_c)^2 + 33,751(I_c) - 17,88 \\ &= -0,403(2,427)^4 + 5,581(2,427)^3 - 21,6312(2,427)^2 + 33,751(2,427) - 17,88 \\ &= 2,424 \end{aligned}$$

10. Perhitungan $q_{C_{IN_{CS}}}$

$$\begin{aligned}q_{C_{IN_{CS}}} &= K_c \times q_{C_{IN}} \\ &= 2,424 \times 40,960 \\ &= 99,305\end{aligned}$$

11. Perhitungan CRR

$$\begin{aligned}CRR &= 93 \times \left(\frac{q_{C_{IN_{CS}}}}{1000} \right)^3 + 0,08 \\ &= 93 \times \left(\frac{99,305}{1000} \right)^3 + 0,08 \\ &= 0,171\end{aligned}$$

12. Perhitungan FS

$$\begin{aligned}FS &= \left(\frac{CRR}{CSR} \right) \\ &= \left(\frac{0,171}{0,031} \right) \\ &= 5,570 \text{ (Tidak terjadi likuifaksi)}\end{aligned}$$

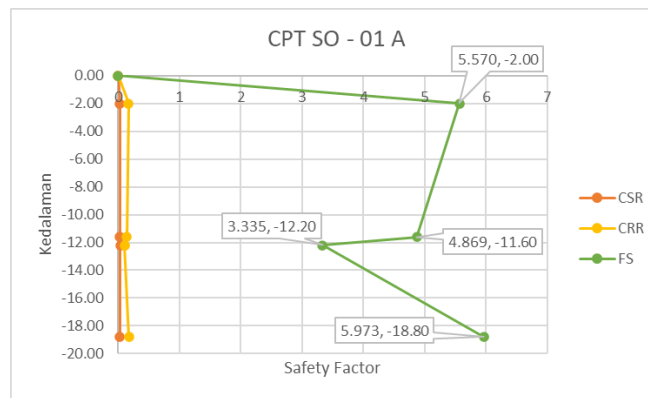
Hasil perhitungan analisis berdasarkan data CPT akan disajikan dan dijelaskan secara detail sebagai berikut.

1. CPT S0 – 01 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 01 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.21 dan Gambar 4.10 sebagai berikut.

Tabel 4.21 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 01 A

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ (kN/m ²) | σ' (kN/m ²) | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN) _{cs} | CRR | FS | Status | |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------------------|-------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 2.00 | 1.80 | 21 | 2059.386 | 25.778 | 25.778 | 0.986 | 0.031 | 40.447 | 0.006 | 2.427 | 1.950 | 40.960 | 2.424 | 99.305 | 0.171 | 5.570 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.00 - 11.60 | 9.60 | 37 | 3628.442 | 187.739 | 187.739 | 0.927 | 0.029 | 25.358 | 0.004 | 2.586 | 0.723 | 26.741 | 3.240 | 86.644 | 0.140 | 4.869 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 11.60 - 12.20 | 0.60 | 13 | 1274.858 | 199.398 | 199.398 | 0.995 | 0.031 | 7.691 | 0.012 | 3.016 | 0.701 | 9.117 | 6.922 | 63.107 | 0.103 | 3.335 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 12.20 - 18.80 | 6.60 | 75 | 7354.950 | 329.068 | 329.068 | 0.950 | 0.030 | 39.111 | 0.002 | 2.439 | 0.546 | 40.943 | 2.474 | 101.280 | 0.177 | 5.973 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.10 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 01 A

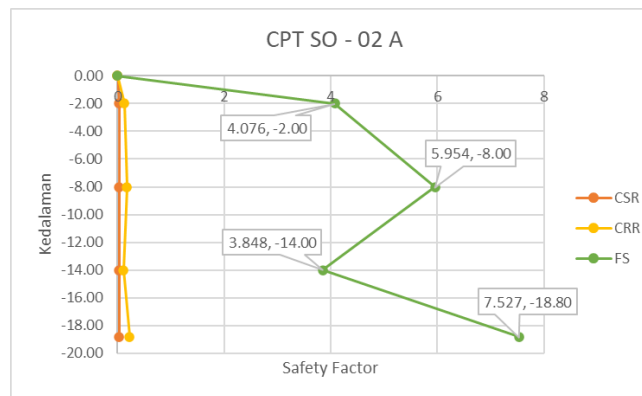
Dari perhitungan CPT pada titik SO - 01 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.10 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 01 A likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 1,80 m 9,60 m 0,60 m dan 6,60 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 5,570, 4,869, 3,335, dan 5,973.

2. CPT S0 – 02 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 02 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.22 dan Gambar 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.22 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 02 A

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ (kN/m ²) | σ' (kN/m ²) | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN) _{cs} | CRR | FS | Status |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------------------|-------|-------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 2.00 | 1.80 | 11 | 1078.726 | 25.778 | 25.778 | 0.986 | 0.031 | 20.942 | 0.012 | 2.653 | 1.950 | 21.455 | 3.664 | 78.611 | 0.125 | 4.076 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.00 - 8.00 | 6.00 | 48 | 4707.168 | 127.004 | 127.004 | 0.954 | 0.030 | 41.040 | 0.003 | 2.423 | 0.879 | 42.179 | 2.404 | 101.378 | 0.177 | 5.954 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 8.00 - 14.00 | 6.00 | 22 | 2157.452 | 243.590 | 243.590 | 0.954 | 0.030 | 12.383 | 0.007 | 2.841 | 0.634 | 13.959 | 5.140 | 71.747 | 0.114 | 3.848 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 14.00 - 18.80 | 4.00 | 105 | 10296.930 | 322.178 | 322.178 | 0.969 | 0.030 | 56.117 | 0.001 | 2.320 | 0.552 | 57.930 | 2.012 | 116.544 | 0.227 | 7.527 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.11 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 02 A

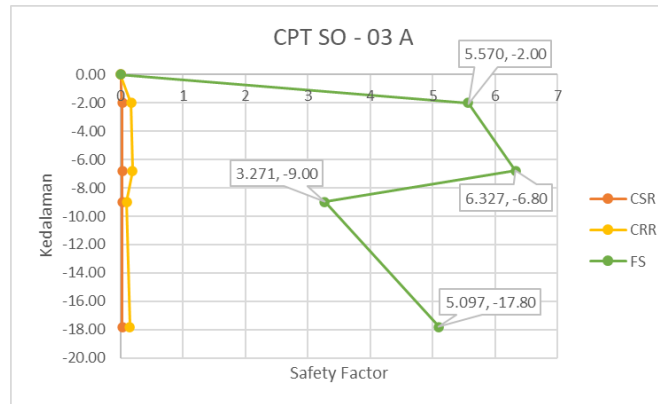
Dari perhitungan CPT pada titik SO - 02 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.11 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi kritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 02 A likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 1,80 m 6,00 m 6,00 m dan 4,00 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 4,076, 5,954, 3,848, dan 7,527.

3. CPT SO – 03 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 03 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.23 dan Gambar 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.23 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 03 A

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ kN/m ² | σ' kN/m ² | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN) _{cs} | CRR | FS | Status | |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------------------|-------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 2.00 | 1.80 | 21 | 2059.386 | 25.778 | 25.778 | 0.986 | 0.031 | 40.447 | 0.006 | 2.427 | 1.950 | 40.960 | 2.424 | 99.305 | 0.171 | 5.570 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.00 - 6.80 | 4.80 | 49 | 4805.234 | 106.759 | 106.759 | 0.963 | 0.030 | 45.919 | 0.003 | 2.385 | 0.958 | 46.963 | 2.251 | 105.690 | 0.190 | 6.327 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 6.80 - 9.00 | 2.20 | 10 | 980.660 | 149.507 | 149.507 | 0.983 | 0.031 | 6.864 | 0.015 | 3.059 | 0.810 | 8.099 | 7.416 | 60.061 | 0.100 | 3.271 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 9.00 - 17.80 | 8.80 | 53 | 5197.498 | 322.400 | 322.400 | 0.933 | 0.029 | 27.417 | 0.003 | 2.559 | 0.552 | 29.231 | 3.083 | 90.113 | 0.148 | 5.097 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.12 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 03 A

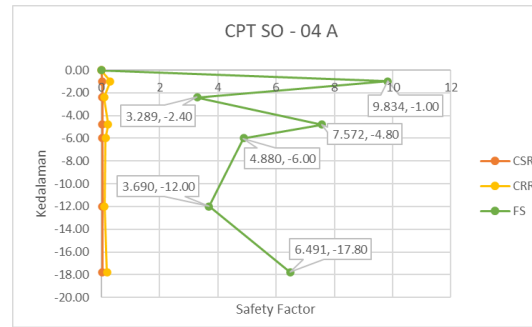
Dari perhitungan CPT pada titik SO - 03 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.12 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 03 A likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 1,80 m 4,80 m 2,20 m dan 8,80 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 5,570, 6,327, 3,271, dan 5,097.

4. CPT S0 – 04 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 04 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.24 dan Gambar 4.13 sebagai berikut.

Tabel 4.24 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 04 A

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ (kN/m ²) | σ' (kN/m ²) | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qclN | Kc | (qclN) _{cs} | CRR | FS | Status | |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------------------|-------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 1.00 | 0.80 | 27 | 2647.782 | 11.457 | 11.457 | 0.994 | 0.031 | 78.652 | 0.005 | 2.214 | 2.926 | 78.993 | 1.698 | 134.121 | 0.304 | 9.834 | 9.834 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.00 - 2.40 | 1.40 | 6 | 588.396 | 35.076 | 35.076 | 0.989 | 0.031 | 9.434 | 0.023 | 2.941 | 1.672 | 10.032 | 6.102 | 61.219 | 0.101 | 3.289 | 3.289 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.40 - 4.80 | 2.40 | 55 | 5393.630 | 81.711 | 81.711 | 0.982 | 0.031 | 59.341 | 0.002 | 2.302 | 1.096 | 60.254 | 1.953 | 117.656 | 0.231 | 7.572 | 7.572 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.80 - 6.00 | 1.20 | 33 | 3236.178 | 105.287 | 105.287 | 0.991 | 0.031 | 30.812 | 0.004 | 2.519 | 0.965 | 31.848 | 2.864 | 91.214 | 0.151 | 4.880 | 4.880 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 6.00 - 12.00 | 6.00 | 18 | 1765.188 | 226.613 | 226.613 | 0.954 | 0.030 | 10.321 | 0.008 | 2.908 | 0.658 | 11.841 | 5.768 | 68.304 | 0.110 | 3.690 | 3.690 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 12.00 - 17.80 | 5.80 | 88 | 8629.808 | 345.246 | 345.246 | 0.956 | 0.030 | 45.024 | 0.002 | 2.392 | 0.533 | 46.900 | 2.276 | 106.759 | 0.193 | 6.491 | 6.491 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.13 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 04 A

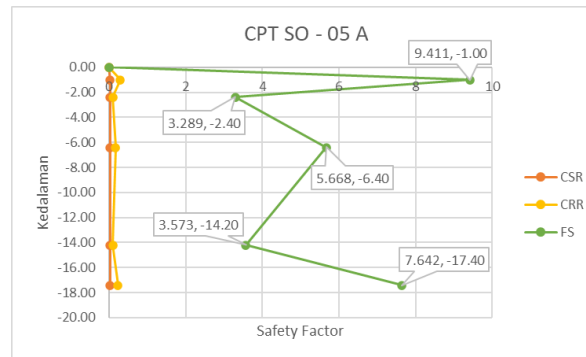
Dari perhitungan CPT pada titik SO - 04 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.13 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 03 A likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 0,80 m, 1,40 m, 2,40 m, 1,20 m, 6.00 m, 5,80 m dan 0,80 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 9,834, 3,289, 7,572, 4,880, 3,690 dan 5,491.

5. CPT S0 – 05 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 05 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.25 dan Gambar 4.14 sebagai berikut.

Tabel 4.25 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 05 A

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ | σ' | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qciN | Kc | (qciN)cs | CRR | FS | Status |
|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 1.00 | 0.80 | 26 | 2549.716 | 11.457 | 11.457 | 0.994 | 0.031 | 75.726 | 0.005 | 2.225 | 2.926 | 76.068 | 1.728 | 131.461 | 0.291 | 9.411 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.00 - 2.40 | 1.40 | 6 | 588.396 | 35.076 | 35.076 | 0.989 | 0.031 | 9.434 | 0.023 | 2.941 | 1.672 | 10.032 | 6.102 | 61.219 | 0.101 | 3.289 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.40 - 6.40 | 4.00 | 43 | 4216.838 | 112.800 | 112.800 | 0.969 | 0.030 | 39.021 | 0.003 | 2.439 | 0.932 | 40.093 | 2.477 | 99.316 | 0.171 | 5.668 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 6.40 - 14.20 | 7.80 | 15 | 1470.990 | 266.047 | 266.047 | 0.940 | 0.029 | 7.460 | 0.011 | 3.028 | 0.607 | 9.107 | 7.052 | 64.220 | 0.105 | 3.573 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 14.20 - 17.40 | 3.20 | 109 | 10689.194 | 330.754 | 330.754 | 0.976 | 0.030 | 57.515 | 0.001 | 2.312 | 0.545 | 59.352 | 1.985 | 117.836 | 0.232 | 7.642 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.14 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 05 A

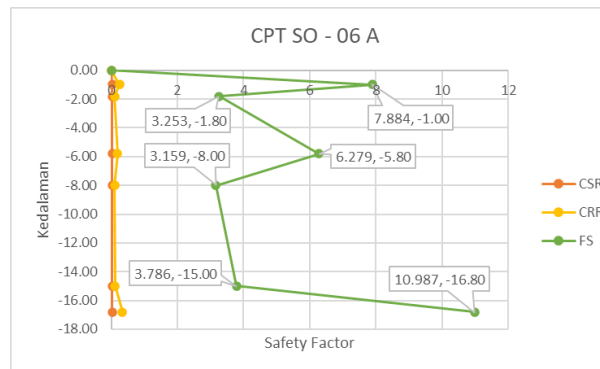
Dari perhitungan CPT pada titik SO - 05 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.14 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 05 A likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 0,80 m, 1,40 m, 4,00 m, 7,80 m, dan 3,20 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 9,411, 3,289, 5,668, 3,573, dan 7,642.

6. CPT S0 – 06 A

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 06 A dapat dilihat dibagian Tabel 4.26 dan Gambar 4.15 sebagai berikut.

Tabel 4.26 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 06 A

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ kN/m ² | σ' kN/m ² | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qciN | Kc | (qciN)cs | CRR | FS | Status | | |
|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|--------|--------|--------------------------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi | |
| 0.20 - 1.00 | 0.80 | 22 | 2157.452 | 11.457 | 11.457 | 0.994 | 0.031 | 64.023 | 0.006 | 2.278 | 2.926 | 64.365 | 1.877 | 120.816 | 0.244 | 7.884 | 0.101 | 3.253 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.00 - 1.80 | 0.80 | 5 | 490.330 | 24.954 | 24.954 | 0.994 | 0.031 | 9.408 | 0.027 | 2.942 | 1.982 | 9.912 | 6.113 | 60.591 | 0.101 | 3.253 | 0.101 | 3.253 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.80 - 5.80 | 4.00 | 48 | 4707.168 | 102.678 | 102.678 | 0.969 | 0.030 | 45.886 | 0.003 | 2.386 | 0.977 | 46.910 | 2.251 | 105.615 | 0.190 | 6.279 | 0.190 | 6.279 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5.80 - 8.00 | 2.20 | 8 | 784.528 | 145.901 | 145.901 | 0.983 | 0.031 | 5.339 | 0.020 | 3.153 | 0.820 | 6.559 | 8.606 | 56.445 | 0.097 | 3.159 | 0.097 | 3.159 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 8.00 - 15.00 | 7.00 | 21 | 2059.386 | 287.448 | 287.448 | 0.946 | 0.029 | 10.554 | 0.007 | 2.900 | 0.584 | 12.266 | 5.688 | 69.767 | 0.112 | 3.786 | 0.112 | 3.786 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 15.00 - 16.80 | 1.80 | 154 | 15102.164 | 324.265 | 324.265 | 0.986 | 0.031 | 82.871 | 0.001 | 2.197 | 0.550 | 84.690 | 1.658 | 140.408 | 0.337 | 10.987 | 0.337 | 10.987 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.15 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 06 A

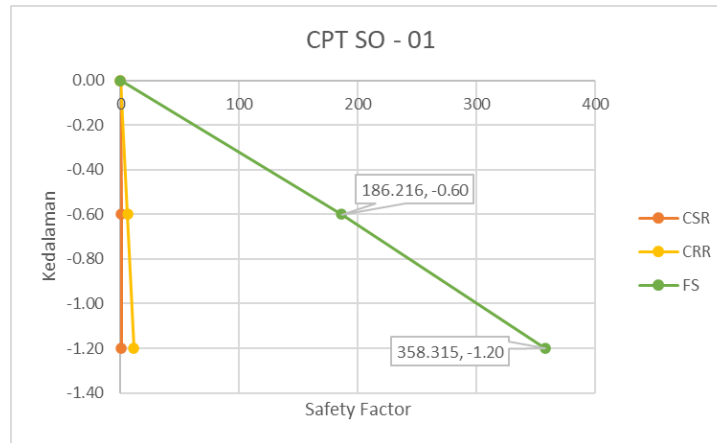
Dari perhitungan CPT pada titik SO - 06 A di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.15 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 06 A likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 0,80 m, 0,80 m, 4,00 m, 2,20 m, 7,00 m, dan 1,80 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 7,884, 3,253, 6,279, 3,159, 3,786, dan 10,987.

7. CPT SO – 01

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 01 dapat dilihat dibagian Tabel 4.27 dan Gambar 4.16 sebagai berikut.

Tabel 4.27 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 01

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ | σ' | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|----------|--------|---------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 0.60 | 0.60 | 105 | 10296.930 | 8.593 | 8.593 | 0.995 | 0.031 | 354.424 | 0.001 | 1.808 | 3.378 | 354.720 | 1.111 | 394.099 | 5.772 | 186.216 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.60 - 1.20 | 0.60 | 200 | 19613.200 | 18.715 | 18.715 | 0.995 | 0.031 | 457.380 | 0.001 | 1.754 | 2.289 | 457.817 | 1.073 | 491.280 | 11.107 | 358.315 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.16 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 01

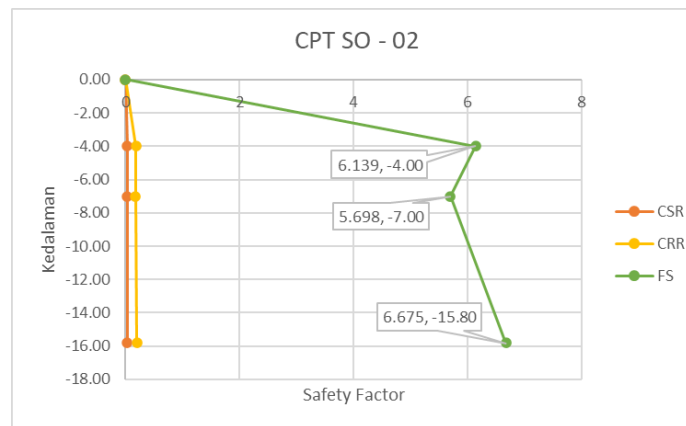
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 01 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.16 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 01 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 0,60 m dan 0,60 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 186,216 dan 353,315.

8. CPT SO – 02

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 02 dapat dilihat dibagian Tabel 4.28 dan Gambar 4.17 sebagai berikut.

Tabel 4.28 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 02

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ | σ' | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 4.00 | 4.00 | 35 | 3432.310 | 57.284 | 57.284 | 0.969 | 0.030 | 45.030 | 0.004 | 2.392 | 1.308 | 45.794 | 2.276 | 104.233 | 0.185 | 6.139 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.00 - 7.00 | 3.00 | 43 | 4216.838 | 107.897 | 107.897 | 0.977 | 0.030 | 39.945 | 0.003 | 2.432 | 0.953 | 40.994 | 2.443 | 100.132 | 0.173 | 5.698 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 7.00 - 15.80 | 8.80 | 80 | 7845.280 | 278.890 | 278.890 | 0.933 | 0.029 | 45.752 | 0.002 | 2.387 | 0.593 | 47.439 | 2.255 | 106.986 | 0.194 | 6.675 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.17 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 02

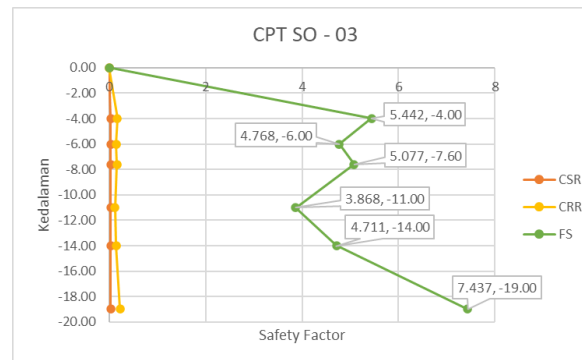
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 02 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.17 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 01 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 4,00 m, 3,00 m, dan 8,80 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 6,139, 5,698, dan 6,675.

9. CPT S0 – 03

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 03 dapat dilihat dibagian Tabel 4.29 dan Gambar 4.18 sebagai berikut.

Tabel 4.29 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 03

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ kN/m ² | σ' kN/m ² | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status | |
|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 4.00 | 4.00 | 29 | 2843.914 | 57.284 | 57.284 | 0.969 | 0.030 | 37.179 | 0.005 | 2.456 | 1.308 | 37.944 | 2.550 | 96.775 | 0.164 | 5.442 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.00 - 6.00 | 2.00 | 29 | 2843.914 | 91.026 | 91.026 | 0.985 | 0.031 | 29.137 | 0.005 | 2.538 | 1.038 | 30.101 | 2.966 | 89.291 | 0.146 | 4.768 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 6.00 - 7.60 | 1.60 | 38 | 3726.508 | 122.116 | 122.116 | 0.988 | 0.031 | 32.937 | 0.004 | 2.497 | 0.896 | 34.053 | 2.747 | 93.558 | 0.156 | 5.077 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 7.60 - 11.00 | 3.40 | 22 | 2157.452 | 188.915 | 188.915 | 0.974 | 0.030 | 14.463 | 0.006 | 2.785 | 0.720 | 15.851 | 4.653 | 73.757 | 0.117 | 3.868 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 11.00 - 14.00 | 3.00 | 44 | 4314.904 | 249.578 | 249.578 | 0.977 | 0.030 | 25.986 | 0.003 | 2.578 | 0.627 | 27.581 | 3.190 | 87.979 | 0.143 | 4.711 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 14.00 - 19.00 | 5.00 | 107 | 10493.062 | 351.848 | 351.848 | 0.962 | 0.030 | 54.595 | 0.001 | 2.329 | 0.528 | 56.489 | 2.042 | 115.355 | 0.223 | 7.437 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.18 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 03

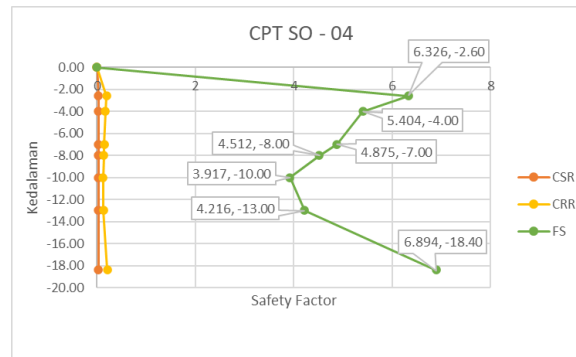
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 03 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.18 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi kritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 03 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 4,00 m, 2,00 m, 1,60 m, 3,40 m, 3,00 m, dan 5,00 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 5,442, 4,768, 5,077, 3,868, 4,711, dan 7,437.

10. CPT SO – 04

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 04 dapat dilihat dibagian Tabel 4.30 dan Gambar 4.19 sebagai berikut.

Tabel 4.30 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 04

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ (kN/m ²) | σ' (kN/m ²) | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 2.60 | 2.60 | 30 | 2941.980 | 37.235 | 37.235 | 0.980 | 0.031 | 48.070 | 0.004 | 2.370 | 1.623 | 48.686 | 2.192 | 106.733 | 0.193 | 6.326 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.60 - 4.00 | 1.00 | 29 | 2843.914 | 54.106 | 54.106 | 0.992 | 0.031 | 38.300 | 0.005 | 2.446 | 1.346 | 39.042 | 2.505 | 97.805 | 0.167 | 5.404 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.00 - 7.00 | 3.00 | 33 | 3236.178 | 112.399 | 112.399 | 0.977 | 0.030 | 29.754 | 0.004 | 2.531 | 0.934 | 30.824 | 2.928 | 90.240 | 0.148 | 4.875 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 7.00 - 8.00 | 1.00 | 31 | 3040.046 | 132.046 | 132.046 | 0.992 | 0.031 | 25.555 | 0.004 | 2.584 | 0.862 | 26.715 | 3.224 | 86.132 | 0.139 | 4.512 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 8.00 - 10.00 | 2.00 | 23 | 2255.518 | 172.488 | 172.488 | 0.985 | 0.031 | 16.016 | 0.006 | 2.748 | 0.754 | 17.342 | 4.357 | 75.565 | 0.120 | 3.917 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 10.00 - 13.00 | 3.00 | 32 | 3138.112 | 233.850 | 233.850 | 0.977 | 0.030 | 19.178 | 0.004 | 2.684 | 0.648 | 20.722 | 3.878 | 80.368 | 0.128 | 4.216 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 13.00 - 18.40 | 5.40 | 97 | 9512.402 | 352.655 | 352.655 | 0.959 | 0.030 | 49.255 | 0.001 | 2.362 | 0.527 | 51.151 | 2.162 | 110.599 | 0.206 | 6.894 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.19 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 04

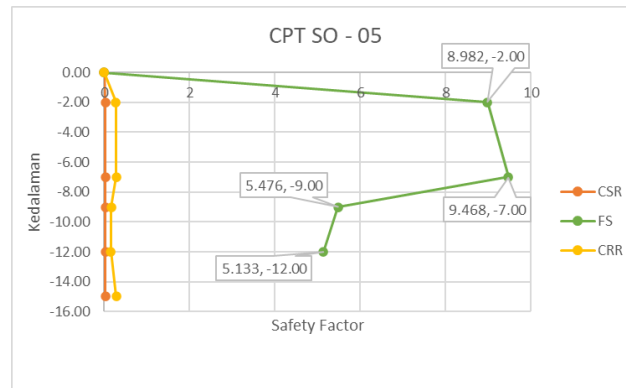
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 04 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.19 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 04 likuifaksi tidak terjadi dengan beda tinggi 2,60 m, 1,00 m, 3,00 m, 1,00 m, 2,00 m, 3,00 m, 4,40 m, dan 5,40 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 6,326, 5,404, 4,875, 4,512, 3,917, 4,216, dan 6,894.

11. CPT SO – 05

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 05 dapat dilihat dibagian Tabel 4.31 dan Gambar 4.20 sebagai berikut.

Tabel 4.31 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 05

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ kN/m ² | σ' kN/m ² | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 2.00 | 2.00 | 39 | 3824.574 | 28.642 | 28.642 | 0.985 | 0.031 | 71.624 | 0.003 | 2.243 | 1.850 | 72.164 | 1.775 | 128.085 | 0.275 | 8.982 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.00 - 7.00 | 5.00 | 79 | 7747.214 | 112.997 | 112.997 | 0.962 | 0.030 | 72.522 | 0.002 | 2.239 | 0.932 | 73.596 | 1.764 | 129.840 | 0.284 | 9.468 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 7.00 - 9.00 | 2.00 | 48 | 4707.168 | 151.859 | 151.859 | 0.985 | 0.031 | 37.328 | 0.003 | 2.454 | 0.804 | 38.573 | 2.544 | 98.141 | 0.168 | 5.476 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 9.00 - 12.00 | 3.00 | 49 | 4805.234 | 210.800 | 210.800 | 0.977 | 0.030 | 31.955 | 0.003 | 2.507 | 0.682 | 33.421 | 2.800 | 93.566 | 0.156 | 5.133 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 12.00 - 15.00 | 3.00 | 121 | 11865.986 | 271.463 | 271.463 | 0.977 | 0.030 | 71.062 | 0.001 | 2.245 | 0.601 | 72.726 | 1.782 | 129.577 | 0.282 | 9.279 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.20 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 05

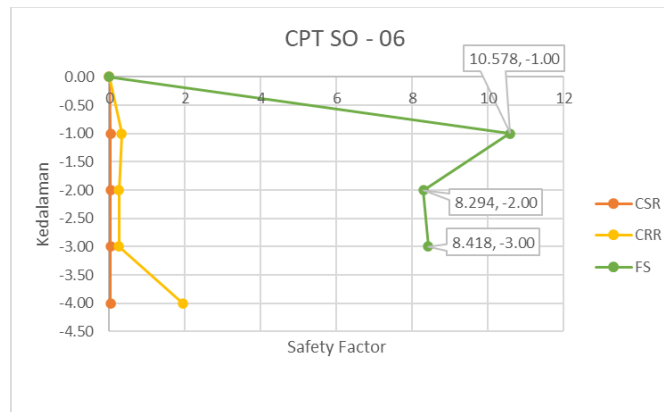
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 05 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.20 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 05 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 2,00 m, 5,00 m, 2,00 m, 3,00 m, dan 3,00 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 8,982, 9,468, 5,476, 5,133, dan 9,279.

12. CPT SO – 06

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 06 dapat dilihat dibagian Tabel 4.32 dan Gambar 4.21 sebagai berikut.

Tabel 4.32 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 06

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ | σ' | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|----------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 1.00 | 1.00 | 32 | 3138.112 | 14.321 | 14.321 | 0.992 | 0.031 | 83.356 | 0.004 | 2.196 | 2.617 | 83.738 | 1.654 | 138.467 | 0.327 | 10.578 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.00 - 2.00 | 1.00 | 38 | 3726.508 | 31.192 | 31.192 | 0.992 | 0.031 | 66.815 | 0.003 | 2.264 | 1.773 | 67.378 | 1.837 | 123.767 | 0.256 | 8.294 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.00 - 3.00 | 1.00 | 49 | 4805.234 | 50.623 | 50.623 | 0.992 | 0.031 | 67.481 | 0.003 | 2.261 | 1.392 | 68.200 | 1.828 | 124.654 | 0.260 | 8.418 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3.00 - 4.00 | 1.00 | 191 | 18730.606 | 70.270 | 70.270 | 0.992 | 0.031 | 224.789 | 0.001 | 1.916 | 1.181 | 225.636 | 1.203 | 271.375 | 1.939 | 62.732 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.21 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 06

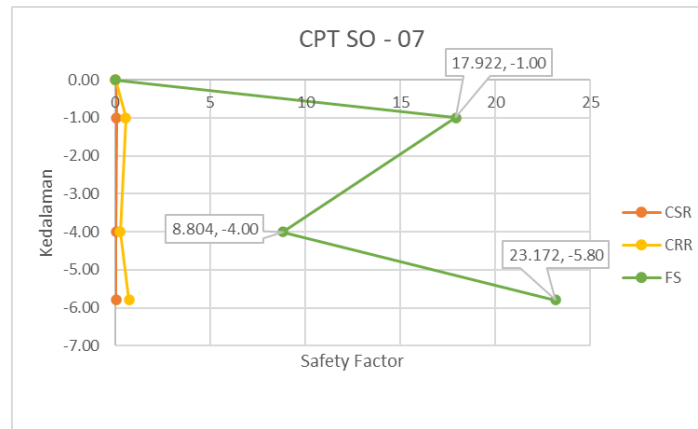
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 06 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.21 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 06 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi setiap lapisannya 1 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 10,578, 8,294, dan 8,418.

13. CPT SO – 07

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 07 dapat dilihat dibagian Tabel 4.33 dan Gambar 4.22 sebagai berikut.

Tabel 4.33 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 07

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ | σ' | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|----------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 1.00 | 1.00 | 46 | 4511.036 | 14.321 | 14.321 | 0.992 | 0.031 | 119.991 | 0.003 | 2.087 | 2.617 | 120.373 | 1.430 | 172.074 | 0.554 | 17.922 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.00 - 4.00 | 3.00 | 57 | 5589.762 | 64.934 | 64.934 | 0.977 | 0.030 | 69.235 | 0.002 | 2.253 | 1.229 | 70.048 | 1.805 | 126.412 | 0.268 | 8.804 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.00 - 5.80 | 1.80 | 140 | 13729.240 | 99.910 | 99.910 | 0.986 | 0.031 | 137.693 | 0.001 | 2.048 | 0.991 | 138.702 | 1.365 | 189.382 | 0.712 | 23.172 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.22 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 07

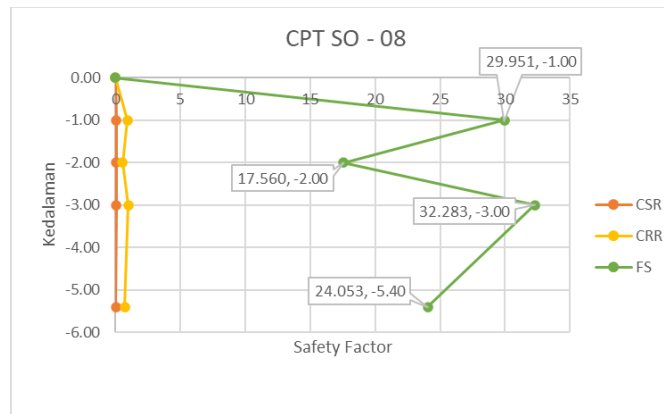
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 07 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.22 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 07 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi setiap lapisannya 1 m, 3 m, dan 1,80 m di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 17,922, 8,804, dan 23,172.

14. CPT SO – 08

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 08 dapat dilihat dibagian Tabel 4.34 dan Gambar 4.23 sebagai berikut.

Tabel 4.34 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 08

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ | σ' | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN)cs | CRR | FS | Status |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|----------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 1.00 | 1.00 | 61 | 5982.026 | 14.321 | 14.321 | 0.992 | 0.031 | 159.243 | 0.002 | 2.007 | 2.617 | 159.626 | 1.308 | 208.717 | 0.926 | 29.951 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 1.00 - 3.00 | 1.00 | 67 | 6570.422 | 31.192 | 31.192 | 0.992 | 0.031 | 118.235 | 0.002 | 2.091 | 1.773 | 118.799 | 1.437 | 170.710 | 0.543 | 17.560 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 3.00 - 4.00 | 1.00 | 119 | 11669.854 | 50.623 | 50.623 | 0.992 | 0.031 | 164.909 | 0.001 | 1.998 | 1.392 | 165.627 | 1.295 | 214.485 | 0.998 | 32.283 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.00 - 5.40 | 2.40 | 141 | 13827.306 | 97.776 | 97.776 | 0.982 | 0.031 | 140.211 | 0.001 | 2.043 | 1.001 | 141.209 | 1.358 | 191.713 | 0.735 | 24.053 | Tidak terjadi likuifaksi |



Gambar 4.23 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 08

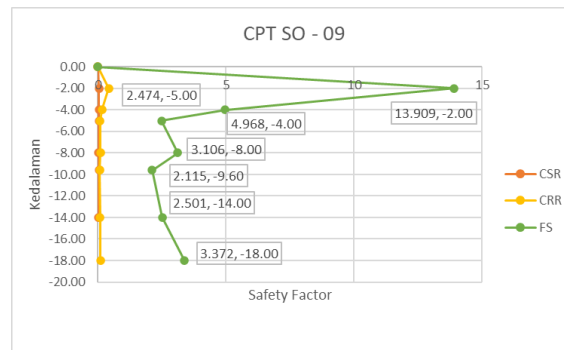
Dari perhitungan CPT pada titik SO – 08 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.23 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi keritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 08 likuifaksi tidak terjadi pada semua lapisan dengan beda tinggi 3 lapisan pertama 1 m, dan lapisan terakhir beda tingginya 2,40 m, di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 29,951, 17,560, 32,283, dan 24,053.

15. CPT S0 – 09

Adapun perhitungan potensi likuifaksi dititik CPT SO – 09 dapat dilihat dibagian Tabel 4.35 dan Gambar 4.24 sebagai berikut.

Tabel 4.35 Perhitungan CSR, CRR, dan FS SO – 09

| Depth (m) | Beda Tinggi (m) | qc (kN/m ²) | | σ (kN/m ²) | σ' (kN/m ²) | Rd | CSR | Q | F | Ic | Cq | qcIN | Kc | (qcIN) _{cs} | CRR | FS | Status |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|----------|----------------------|-------|--------|--------------------------|
| | | kg/cm ² | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 0.20 - 2.00 | 2.00 | 55 | 5393.630 | 28.642 | 28.642 | 0.985 | 0.031 | 101.230 | 0.002 | 2.137 | 1.850 | 101.770 | 1.523 | 155.031 | 0.427 | 13.909 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 2.00 - 4.00 | 2.00 | 98 | 9610.468 | 62.384 | 62.384 | 0.985 | 0.031 | 122.073 | 0.001 | 2.082 | 1.254 | 122.871 | 1.421 | 174.592 | 0.152 | 4.968 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 4.00 - 5.00 | 1.00 | 29 | 2843.914 | 81.815 | 81.815 | 0.992 | 0.031 | 30.836 | 0.005 | 2.519 | 1.095 | 31.750 | 2.863 | 90.887 | 0.076 | 2.474 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 5.00 - 8.00 | 3.00 | 64 | 6276.224 | 140.756 | 140.756 | 0.977 | 0.030 | 52.222 | 0.002 | 2.343 | 0.835 | 53.420 | 2.093 | 111.786 | 0.094 | 3.106 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 8.00 - 9.60 | 1.60 | 24 | 2353.584 | 173.110 | 173.110 | 0.988 | 0.031 | 16.735 | 0.006 | 2.733 | 0.753 | 18.064 | 4.235 | 76.508 | 0.065 | 2.115 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 9.60 - 14.00 | 4.40 | 50 | 4903.300 | 266.482 | 266.482 | 0.966 | 0.030 | 28.683 | 0.003 | 2.544 | 0.607 | 30.332 | 2.996 | 90.872 | 0.075 | 2.501 | Tidak terjadi likuifaksi |
| 14.00 - 18.00 | 4.00 | 118 | 11571.788 | 353.006 | 353.006 | 0.969 | 0.030 | 60.297 | 0.001 | 2.297 | 0.527 | 62.194 | 1.936312 | 120.427 | 0.102 | 3.372 | Tidak terjadi likuifaksi |

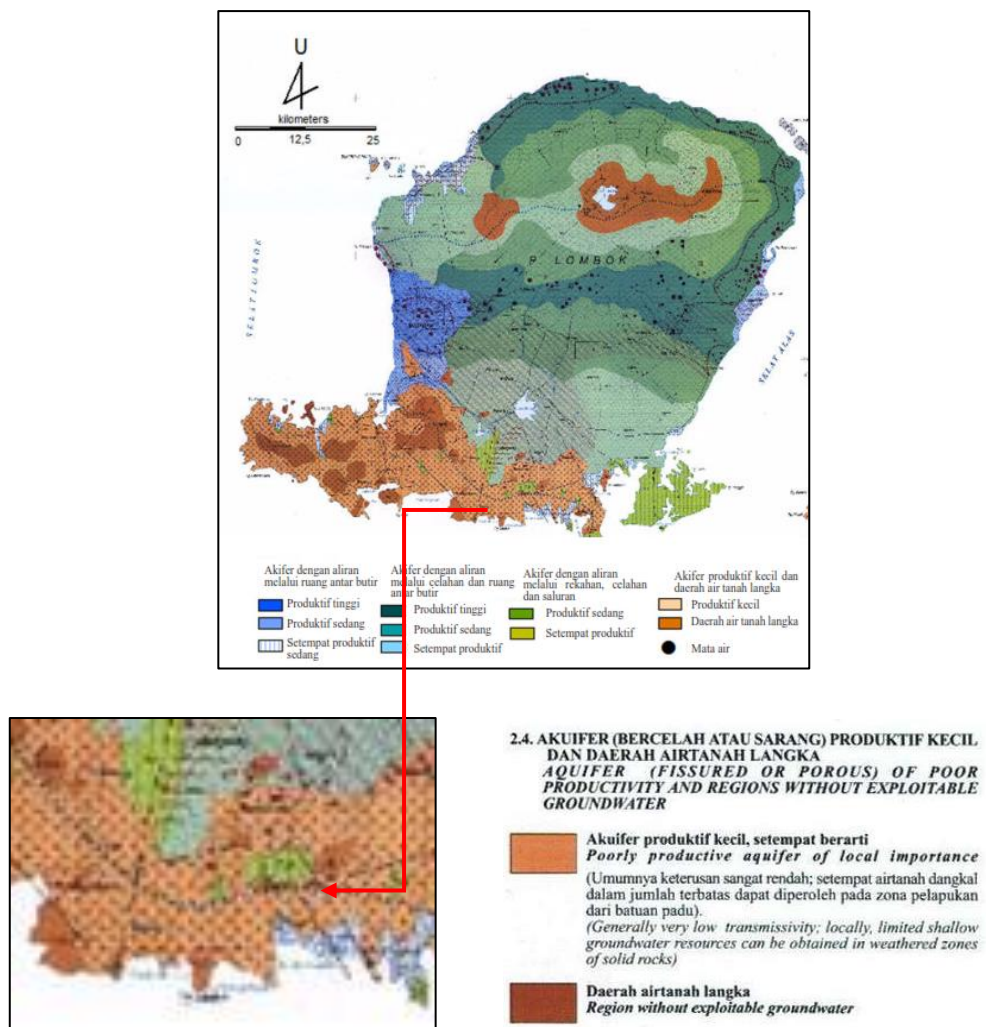


Gambar 4.24 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman SO – 09

Dari perhitungan CPT pada titik SO – 09 di dapatkan hasil grafik pada Gambar 4.24 yang dimana terdiri dari CSR, CRR, FS, dan Kedalaman. Dimana nilai FS = 1 merupakan acuan terjadinya likuifaksi atau tidak, apabila FS kurang dari 1 maka akan terjadi likuifaksi, dan apabila FS sama dengan 1 maka dalam kondisi kritis, sedangkan FS yang melebihi dari 1 tidak akan terjadi likuifaksi. Pada titik SO – 09 likuifaksi tidak terjadi PA dengan beda tinggi 2,00 m, 2,00 m, 1,00 m, 3,00 m, 1,60 m, 4,40 m dan 4,00 m, di karenakan SF pada lapisan ini di dapatkan sebesar 13,909, 4,968, 2,474, 3,106, 2,115, 2,501, dan 3,372.

4.1.5 Analisis Data Hidrogeologi

Dilihat dari formasi batuan Pulau Lombok dibagi menjadi tiga bagian, yaitu cekungan air tanah Pemenang – Sambelia, cekungan air tanah Mataram – Selong, dan non - cekungan air tanah bagian selatan Pulau Lombok (Anonim, 2004, 2005). Kondisi air tanah berpusat di bagian tengah dan utara pulau Lombok. Sedangkan di bagian selatan pulau dianggap tidak mempunyai kandungan air. Dengan demikian sumber air untuk bagian selatan tergantung pada air permukaan (air hujan) dan suplai dari bagian utara. Dan berdasarkan peta hidrogeologi pulau Lombok (Gambar 4.25) Sirkuit Internasional Mandalika termasuk memiliki akuifer produktif kecil dan daerah air tanahnya langka

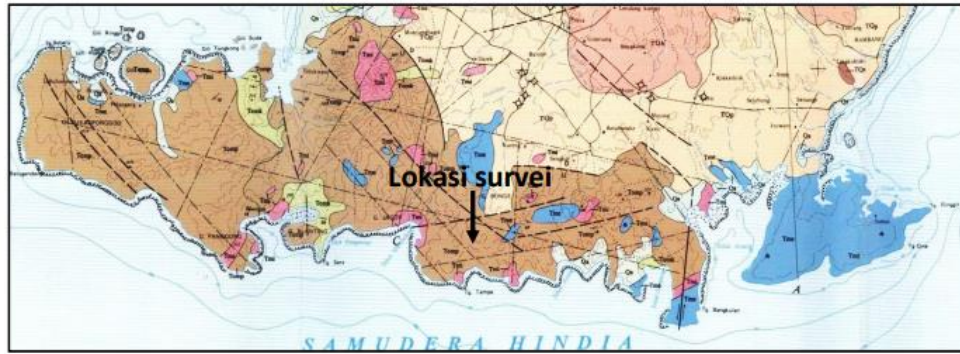


Gambar 4.25 Peta Hidrogeologi Regional Pulau Lombok (Agustawijaya, 2022)

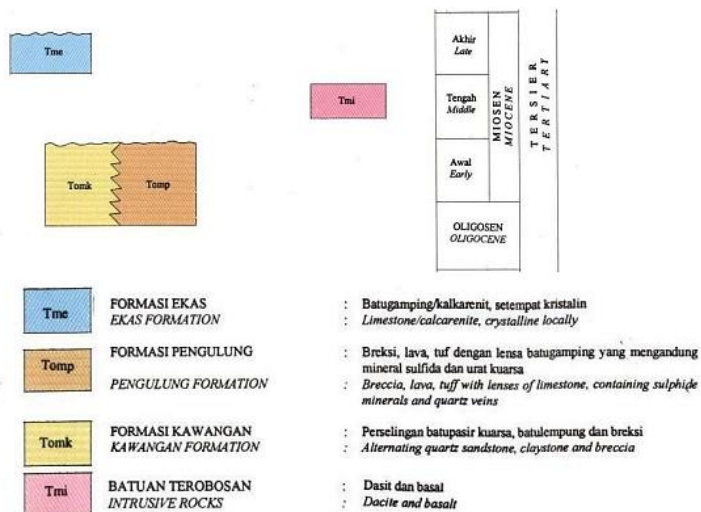
Sedangkan berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) pada 3 titik sampel BH – 1 A, BH – 2 A, dan BH - 3 A dengan elevasi +38 m di atas muka air laut tidak ditemukan muka air tanah dikarenakan pada struktur berupa bukit menonjol dengan batuan beku andesit yang telah mengalami retakan dan pecah. Sedangkan terdapat 5 titik sampel yang memiliki muka air tanah yaitu pada titik sampel BH – 1 B, BH – 2 B, BH – 3 B, BH – 1 C, dan BH – 2 C, pada titik sampel BH – 1 B ditemukan muka air tanah pada kedalaman 2,5 m, di titik sampel BH – 2 B ditemukan muka air tanah pada kedalaman 2 m, dan di titik sampel BH – 3 B ditemukan muka air tanah pada kedalaman 2,5 m sama dengan muka air tanah pada titik sampel BH – 1 B. Sedangkan pada titik sampel BH – 1 C dan BH – 2 C ditemukan muka air tanah pada kedalaman 4 m dan 24 m.

Berdasarkan sejarah kerentanan tertinggi terjadi likuifaksi ketika muka air tanahnya kurang dari 3 m dibawah permukaan tanah atau kondisi muka air tanah dangkal. Kondisi lapisan tanah jenuh air yang cukup dekat dengan permukaan akan menimbulkan kenaikan tekanan hidrostatik yang tinggi di suatu lapisan tanah.

4.1.6 Analisis Data Geologi



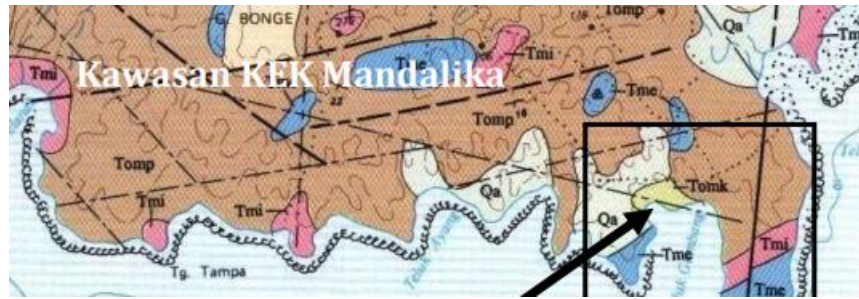
Gambar 4.26 Peta geologi regional Pulau Lombok (Andi Mangga dkk., 1994)



Gambar 4.27 Stratigrafi Pulau Lombok bagian selatan (Andi Mangga dkk., 1994)

Berdasarkan peta geologi (Gambar 4.26) dan stratigrafi pulau Lombok bagian selatan (Gambar 4.27), pada daerah Sirkuit Internasional Mandalika memiliki tanda formasi batuan Tomp, atau biasa dikenal dengan formasi penggulung terdiri dari breksi lava, tuf, dengan lensa betu gamping yang mengandung mineral sulfida. Formasi Kawangan terdiri atas perselingan batu pasir kuarsa, batu lempung dan breksi. Kedua formasi tersebut diterobos oleh batuan beku andesit dan basal. Di beberapa tempat terdapat batuan-batuan intrusif (Tmi) yang berumur Miosen Tengah seperti pada titik pengeboran BH-1 A, BH-2 A, dan BH-3 A. Selain itu Sirkuit International Mandalika sangat dekat dengan bibir pantai seger yaitu berjarak kurang lebih 500 m.

4.1.7 Analisis Data Geologi Struktur

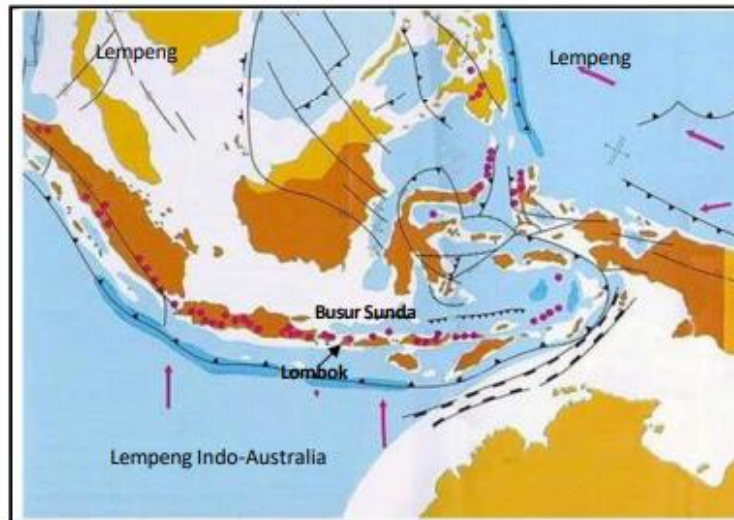


Gambar 4.28 Peta geologi regional Pulau Lombok (Andi Mangga dkk., 1994)

Berdasarkan peta geologi regional Pulau Lombok (Gambar 4.28) dilihat dalam mekanisme pembentukan struktur geologi pada peta geologi (Gambar 4.28) Sirkuit Internasional Mandalika terdapat garis putus-putus yang merupakan *lainment*, berbeda dengan lokasi Gunung Tunak terdapat garis tegas yang merupakan sesar normal yang mengalami pergeseran dipengaruhi oleh gaya gravitasi, sehingga sesar dapat menjadi amplifikasi terjadinya likuifaksi seperti yang terjadi di Palu pada 28 September 2018 beberapa daerah mengalami fenomena alam yang disebut dengan likuifaksi.

4.1.8 Analisis Data Gempa Bumi

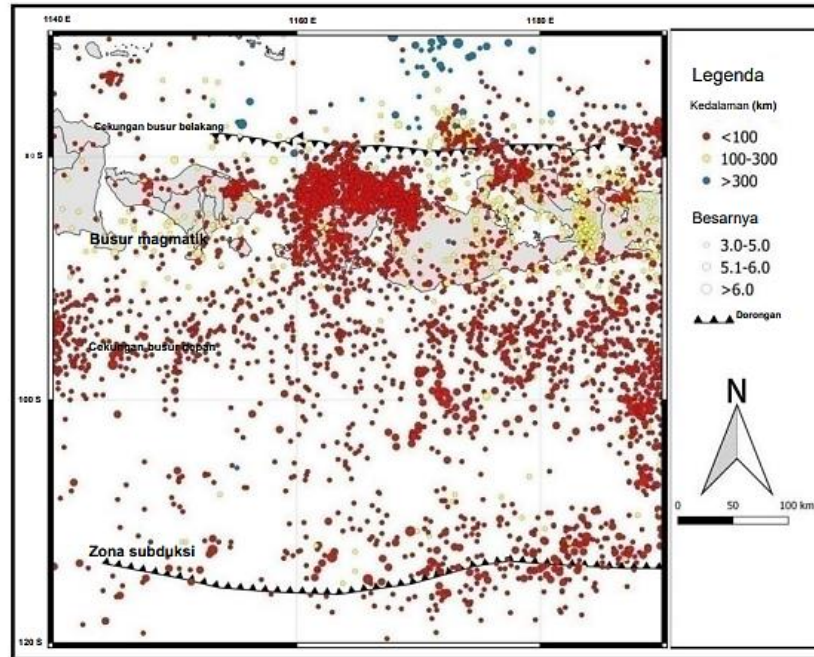
Agustawijaya dkk (2018) menemukan bahwa seismik gempa pada Pulau Lombok tergolong tinggi, karena Pulau Lombok terletak di wilayah Nusa Tenggara yang merupakan salah satu bagian seismik paling aktif di Indonesia, dimana Lempeng Benua Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia (Hamilton, 1974, 1979). Dimana Lempeng Pasifik yang menekan Busur Sunda bergerak ke arah barat dari bagian timur Indonesia (Rachmat et al., 2017)



Gambar 4.29 Pola tektonik Indonesia (Hamilton, 1974; Racmat et al., 2017)

Oleh karena itu, gaya tektonik akan secara dinamis mengembangkan gaya horizontal yang menciptakan ketidakstabilan pada infrastruktur dan bangunan di atas tanah. Seperti gempa yang dialami bagian utara Pulau Lombok dengan kekuatan 4-7 SR dengan ratusan kejadian gempa bumi yang telah dicatat oleh badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), dan Sebagian diantaranya 365 kali terjadi gempa bumi yang terjadi antara tanggal 29 juli – 9 Agustus 2018 (Anonim,2018).

Kekuatan gempa bumi yang terjadinya berdasarkan zona daerah tertentu. Data gempa bumi berupa peta kegempaan data gempa utama 2160 Mw>3.0 selama periode 1922-2018, yang tersebar di sekitar Pulau Lombok dalam empat zona tektonik. Peta wilayah gempa Lombok dapat dilihat pada (Gambar 4.30).



Gambar 4.30 Peta seismisitas Pulau Lombok (Agustawijaya dkk, 2020)

Tabel 4.36 Perhitungan PGA pulau Lombok

| Location / Station | PGA1 (g) | PGA2 (g) [48] | PGA3 (g) [18] |
|----------------------|----------|------------------|------------------|
| Bayan | 1.49 | 1.07 | - |
| Tanjung/STA30 | 0.74 | 0.75 | 0.79 |
| Pemenang/STA33 | 0.63 | 0.57 | 0.63 |
| Mangsit/STA29 | 0.54 | 0.45 | 0.68 |
| Jeringo/STA32 | 0.58 | 0.40 | 0.33 |
| Guntur Macan | 0.58 | 0.40 | - |
| Mataram/STA31 | 0.53 | 0.22 | 0.55 |
| Lombok Airport/STA34 | 0.47 | 0.06 | 0.06 |

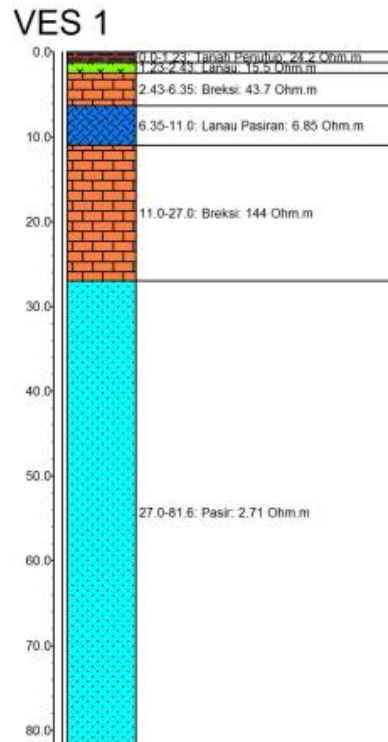
STA = recorder station, for example STA30 located at Tanjung in the North Lombok District [18].

(Sumber Agustawijaya, dkk 2020)

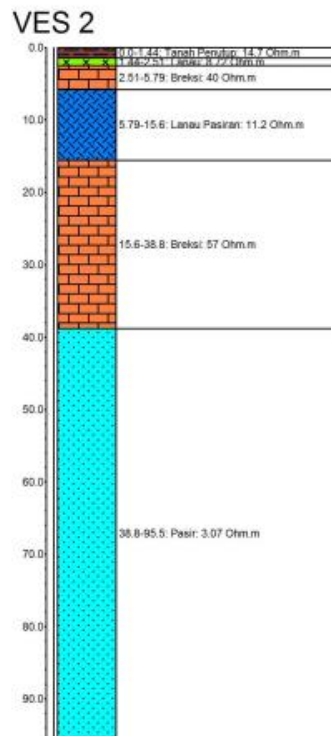
Dalam Perhitungan CSR dan CRR, nilai a_{Max} (percepatan pada permukaan tanah) akibat gempa bumi digunakan 0.47 g (Tabel 4.36) berdasarkan nilai percepatan puncak pada batuan dasar (PGA1) (Agustawijaya, 2020) untuk kejadian gempa Pulau Lombok tahun 2018 dari hasil perhitungan data stasiun BMKG terdekat dengan Sirkuit Internasional Mandalika yaitu Bandara *International Airport*, dimana untuk mengukur nilai a_{Max} digunakan alat akselerometer dan alat yang digunakan untuk mengukur gempa yaitu seismograf. (Sadisun, 2018) likuifaksi umumnya terjadi pada gempa di atas 5 SR dengan kedalaman sumber gempanya termasuk dalam kategori dangkal. Oleh karena itu berdasarkan data gempa bumi di Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi terjadinya likuifaksi.

4.1.9 Analisis Data Geolistrik

Pengamatan kedalaman muka air tanah secara langsung bisa dilihat melalui sumur bor atau mata air, sedangkan pengamatan tidak langsung muka air tanah dilakukan dengan metode geolistrik. Tujuan utama dari metode pengukuran geolistrik ini adalah untuk mencari resistivitas dari suatu lapisan batuan terhadap arus listrik (Dobrin, 1981) arus listrik diinjeksi ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian mengukur nilai tegangan dengan melalui dua elektroda potensial menggunakan alat resistivity. Batuan yang mengandung air akan mempunyai daya hantar lebih tinggi dibandingkan dengan batuan yang tidak mengandung air.



Gambar 4.31 Stratigrafi berdasarkan nilai resistivitas Ves 1.



Gambar 4.32 Stratigrafi berdasarkan nilai resistivitas Ves 2.

Pengolahan data geolistrik 1D (VES) di Sirkuit Internasional Mandalika, pada titik VES 1 dan VES 2 menunjukkan bahwa terdapat 6 lapisan batuan yang berbeda, dilihat pada (Gambar 4.31) lapisan pada kedalaman 27-81 m, mempunyai nilai resistivity ,71 Ohm.m, yang dimana menunjukka bahwa air (akuifer) pada kedalaman >27 m. Sedangkan pada stratigrafi berdasarkan nilai resistivitas Ves 2 (Gambar 4.32) memberikan indikasi keberadaan air tanah pada Ves 2. Dengan nilai resistivity 2,71 – 3,07 Ohm.m pada kedua pengukuran untuk pengeboran diduga pada kedalaman 60 m untuk memperoleh air. Dan pada lapisan dengan nilai resistivity (tahanan jenis) lapisan kecil <30 Ohm.m menunjukkan material pada lapisan tersebut mengandung air.

Sedangkan dilihat dari data *Standar Penetration Test* (SPT) terdapat 5 titik sampel yang memiliki muka air tanah yaitu pada titik sampel BH – 1 B, BH – 2 B, BH – 3 B, BH – 1 C, dan BH – 2 C dengan muka air tanah dangkal (<10m) dan pada titik sampel BH – 1 C ditemukan muka air tanah pada kedalaman 4 m yang termasuk dalam muka air tanah dangkal dan muka air tanah pada kedalaman 24 m di titik sampel BH – 2 C.

4.2 Hasil

Tabel 4.37 Rekapitulasi potensi likuifaksi

| No. | Parameter Likuifaksi | Potensi | |
|-----|----------------------|---------|----|
| | | Yes | No |
| 1 | Faktor keamanan SPT | | ✓ |
| 2 | Faktor keamanan CPT | | ✓ |
| 3 | Hidrogeologi | | ✓ |
| 4 | Geologi | ✓ | |
| 5 | Geologi struktur | | ✓ |
| 6 | Geolistrik | ✓ | |
| 7 | Gempa bumi | ✓ | |

- a) Potensi (*Yes*) = 3 Parameter berpotensi likuifaksi
- b) Potensi (*No*) = 4 Parameter tidak berpotensi likuifaksi

Dengan hasil rekapitulasi parameter potensi likuifaksi diatas terdapat terdapat 3 parameter yang berpotensi likuifaksi yaitu data geologi, gempa bumi dan geolistrik, dan 4 parameter yang tidak berpotensi likuifaksi dari parameter perhitungan CSR dan CRR

dari data 15 titik sampel *Standart Penetration Test* (SPT), 8 titik sampel *Cone Penetration Test* (CPT), berdasarkan data geohidrologi dan geologi struktur yang tidak berpotensi likuifaksi, oleh karena itu dapat di simpulkan bahwa di Sirkuit Internasional Mandalika penelitian tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Adapaun faktor – faktor yang mempengaruhi potensi likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika yaitu diantaranya:

1. Faktor Keamanan SPT

Berdasarkan faktor keamanan SPT dari hasil perhitungan analisis potensi terjadinya likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) didapatkan bahwa nilai CRR dan nilai CSR yang berada pada 8 titik sampel SPT dengan kedalaman yang bervariasi rata-rata didapatkan nilai SF lebih dari 1, yang artinya pada semua titik sampel data *Standard Penetration Test* (SPT) tidak berpotensi terjadi likuifaksi.

2. Faktor Keamanan CPT

Dilihat dari hasil perbandingan antara hasil perhitungan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) untuk mendapatkan faktor keamanan, di Sirkuit Internasional Mandalika tidak berpotensi terjadi likuifaksi, dikarenakan hasil nilai SF pada 15 titik sampel untuk data *cone Penetration Test* (CPT) semuanya lebih dari 1.

3. Hidrogeologi

Muka air tanah yang terdapat pada ke 5 titik data *Standard Penetration Test* (SPT) yaitu pada titik sampel BH – 1 B, BH – 2 B, BH – 3 B, BH – 1 C, dan BH – 2 C tersebut Sirkuit Internasional Mandalika memiliki akuifer yang tergolong kecil dan daerah tanah langka atau biasa dikenal dengan akuifer bebas. Akuifer bebas (*Unconfined aquifer*) yaitu suatu akuifer yang dimana muka air tanah merupakan batas atas dari zona jenuh air, oleh karena itu berdasarkan data hidrogeologi Sirkuit International Mandalika tidak berpotensi terjadi likuifaksi.

4. Geologi

Dengan dominannya formasi penggulung yang bersifat lapuk dan umumnya mudah terkonsolidasi. Pada kawasan Sirkuit International Mandalika, secara kualitatif berdasarkan data geologi Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi terjadinya likuifaksi. Hatmoko (2020) peristiwa likuifaksi di Alaska berpotensi likuifaksi dikarenakan memiliki karakteristik tanah pasir yang lebih halus dengan zona likuifaksi jauh lebih dalam

dibandingkan dengan di Niigata karena ketebalatan tanah pasirnya jauh lebih tebal. Meskipun pada Sirkuit Internasional Mandalika terdapat formasi Tmi (batuan beku) akan tetapi formasi Tmi tersebut tidak terhubung satu sama lain sehingga tidak bisa menghambat potensi terjadinya likuifaksi.

4. Geologi Struktur

Berdasarkan peta geologi Pulau Lombok (Gambar 4.28) pada Sirkuit Internasional Mandalika hanya terdapat *lainment*, sehingga tidak dapat menjadi amplifikasi terjadinya likuifaksi seperti yang terjadi di Palu pada 28 September 2018 beberapa daerah mengalami fenomena alam yang disebut dengan likuifaksi, oleh karena itu pada berdasarkan data geologi struktur Sirkuit Internasional Mandalika tidak berpotensi terjadi likuifaksi.

5. Gempa Bumi

Berdasarkan data gempa bumi Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi terjadi likuifaksi dikarenakan seismik gempa pada Pulau Lombok tergolong tinggi, karena Pulau Lombok terletak di wilayah Nusa Tenggara yang merupakan salah satu bagian seismik paling aktif di Indonesia, dimana Lempeng Benua Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia (Hamilton, 1974, 1979).

6. Geolistrik

Dengan perbandingan data hasil stratigrafi nilai resistivitas pada 2 titik dengan data *Standar Penetration Test* (SPT) sebanyak 5 titik yaitu pada titik sampel BH – 1 B, BH – 2 B, BH – 3 B, BH – 1 C, dan BH – 2 C, disimpulkan bahwa berdasarkan data geolistrik Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi terjadinya likuifaksi karena terdapat muka air tanah

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis potensi likuifaksi yang berlokasi di Sirkuit Internasional Mandalika dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Dari hasil perhitungan analisis potensi terjadinya likuifaksi di Sirkuit Internasional Mandalika menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) didapatkan bahwa nilai CRR dan nilai CSR yang berada pada 8 titik sampel SPT dan 15 titik sampel CPT dengan kedalaman yang bervariasi didapatkan nilai SF lebih dari 1, yang artinya pada semua titik sampel pada dat SPT dan CPT tidak berpotensi terjadi likuifaksi
2. Untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data hidrogeologi di Sirkuit Internasional Mandalika tidak berpotensi terjadi likuifaksi dikarenakan pada titik sampel BH – 1 B, BH – 2 B, BH – 3 B, BH – 1 C, dan BH – 2 C memiliki muka air tanah dengan jenis akuifer bebas. Akuifer bebas (*Unconfined aquifer*) yaitu suatu akuifer yang dimana muka air tanah merupakan batas atas dari zona jenuh air atau tidak terdapat lapisan kedap air yang artinya memiliki permeabilitas kecil.
3. Untuk analisis potensi likuifaksi secara kualitatif berdasarkan data geologi berpotensi terjadi likuifaksi, berdasarkan peta geologi Sirkuit Internasional Mandalika dominan dengan formasi Tomp atau formasi penggulung yang bersifat lapuk dan umumnya mudah terkonsolidasi.
4. Untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data geologi struktur berdasarkan peta geologi pada Sirkuit Internasional Mandalika hanya terdapat *lainment*, sehingga tidak dapat menjadi amplifikasi terjadinya likuifaksi seperti yang terjadi di Palu pada 28 September 2018 beberapa daerah mengalami fenomena alam yang disebut dengan likuifaksi.
5. Untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data gempa bumi Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi terjadi likuifaksi dikarenakan bahwa seismik gempa pada Pulau Lombok tergolong tinggi, mengingat Pulau Lombok terletak di wilayah Nusa Tenggara yang merupakan salah satu bagian seismik paling aktif di Indonesia.
6. Untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data geolistrik dengan melihat hasil stratigrafi nilai resistivitas pada 2 titik VES di Sirkuit Internasional Mandalika berpotensi

terjadi likuifaksi dikarenakan metode geolistrik dapat mengidentifikasi adanya muka air tanah dangkal yang menjadi salah satu faktor terjadinya likuifaksi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan peneliti antara lain:

1. Terjadinya likuifaksi tidak hanya dari faktor nilai SPT, namun juga tergantung pada gradasi butiran pada tanah tersebut. Untuk itu agar lebih akurat sebaiknya melakukan uji laboratorium guna mendapatkan parameter tanah, untuk perhitungan tegangan total (σ) dan tegangan efektif (σ') dalam perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR).

DAFTAR PUSTAKA

- Agustawijaya, Didi.S., (2019). *Geologi Teknik*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Agustawijaya, Didi.S., (2019). "Microzonation Mapping Of Liquefaction Potential At The Mandalika Resort – Lombok Island". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram.
- Agustawijaya, Didi.S., Taruna, Rian M., Agustawijaya, AUSA R., (2020). "An Update to Seismic Hazard Level And PSHA for Lombok and Surrounding Island After Earthquakes in 2018". Vol. 53, No.4, Bulletin of The New Zealand Society.
- Agustawijaya, Didi.S., (2020). "Soil Test Report Proyek Pembangunan Sirkuit Mandalika Lombok". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram.
- Agustawijaya, Didi.S., (2022). "Soil Test Report Pembangunan *Skybridge* Sirkuit Mandalika". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram.
- Agustawijaya, Didi.S., (2022). "Soil Test Report Pembangunan *Tunnel 3* Sirkuit Mandalika". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram.
- Agustawijaya, Didi.S., (2022). "Rock Drilling Report Proyek Pembangunan Sirkuit Mandalika Lombok". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram.
- Agustawijaya, Didi.S., (2022). "Laporan Survei Geolistrik Proyek Sumur Bor Penduduk". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram.
- Hasbi, Yudi., (2021). "Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT Dan CPT". Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hatmoko, John Tri., (2020). *Dinamika Tanah dan Liquefaction*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.
- Lestari, Rizka Amalia., (2018). "Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT (Standar Penetration Test) Dan CPT (Cone Penetration Test)". Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Muhajirah., Agung.Prabowo., Isya.Ashari., (2014). "Evaluasi Awal Potensi Likuifaksi Di Kota Mataram". Fakultas Teknik. Universitas Mataram. Mataram
- Mentari, Apriyana Kharisma., (2016). "Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data CPT dan SPT di Sekitaran Jalan Raya Yogya-Solo Yogyakarta". Fakultas Teknik. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Muntohar, Agus Setyo., (2012). "Studi Parametrik Potensi Likuifaksi dan Penurunan Permukaan Tanah Berdasarkan Uji Sondir". Jurusan Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Indonesia

- Pramana, I Made Wahyu., (2015). “Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Data SPT dan CPT”. Fakultas Teknik. Universitas Udayana. Bukit Jimbaran. Bali.
- Ribiatul, Adawiyah., (2008). “Pola Wilayah Bahaya Likuifaksi Di Provinsi D.I.Yogyakarta”. Universitas Indonesia. Depok.
- Roesli, Stephanie Nadya., (2018). “Analisis Potensi Likuifaksi Studi Kasus Padang Dan Jakarta”. Fakultas Teknik. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE 127(10), 817- 33.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops On Evaluation Of Liquefaction Resistance Of Soils.