

## PENGARUH MUKA AIR TANAH TERHADAP PENURUNAN FONDASI TELAPAK BUJUR SANGKAR KOTA GORONTALO

Ria Defriyanti ALI<sup>1\*</sup>, Indriati Martha PATUTI<sup>1</sup>, Fadly ACHMAD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

\*Email korespondensi: riadefriyanti8@gmail.com

[diterima: 8 Juni 2022, disetujui: 26 Desember 2022]

### ABSTRACT

This study aims to analyze the settlement of spread footing by taking the condition of the groundwater table into account in several sub-districts in Gorontalo City. Gorontalo City is an area that is currently growing in Gorontalo Province. The impact of this is the increasing development in Gorontalo City. In building construction, a lot of data and studies are needed to support its construction, one of which is soil characteristic data. The research locations were in Duingi District, Kota Barat District, and Sipatana District, Gorontalo City. The data used is in the form of primary data, namely groundwater level data and soil characteristics data. The location of the well observations was carried out near the soil sampling point in Duingi Village, South Tomulabutao District, Sipatana District's Tanggikiki Village, and West City District's Buliide Village. Foundation Settlement analysis using GEO5. The lowest settlement value is located in the west city district, with the original groundwater level ( $z > B$ ) of 49,60 mm < 65 mm and the planned groundwater level ( $d_w > D_f$ ) of 50,60 mm < 65 mm. The highest settlement value is located in Sipatana District with the original groundwater level ( $z < B$ ) of 666,40 > 65 mm and the planned groundwater level ( $d_w > D_f$ ) of 705,60 mm > 65 mm.

**Key words:** Shallow Foundations, Groundwater, Settlement, GEO5.

### INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan fondasi telapak bujur sangkar dengan memperhitungkan kondisi muka air tanah di beberapa kecamatan di Kota Gorontalo. Kota Gorontalo merupakan daerah yang saat ini semakin berkembang di Provinsi Gorontalo. Dampak dari hal tersebut membuat pembangunan di Kota gorontalo semakin meningkat. Dalam pembangunan gedung diperlukan banyak informasi data dan kajian untuk menunjang pembangunannya, salah satunya adalah data karakteristik tanah. Lokasi penelitian dilakukan di Kecamatan Duingi, Kecamatan Kota Barat, dan Kecamatan Sipatana Kota Gorontalo. Data yang digunakan berupa data primer yaitu data tinggi muka air tanah dan data karakteristik tanah. Lokasi pengamatan sumur dilakukan di dekat titik pengambilan sampel tanah yaitu di Kecamatan Duingi Kelurahan Tamulabutao Selatan, Kecamatan Sipatana Kelurahan Tanggikiki, dan Kecamatan Kota Barat Kelurahan Buliide. Analisis penurunan fondasi menggunakan perangkat lunak GEO5. Nilai penurunan yang terendah terletak di Kecamatan Kota Barat dengan kondisi muka air tanah asli ( $z > B$ ) sebesar 49,60 mm < 65 mm dan kondisi muka air tanah rencana ( $d_w > D_f$ ) sebesar 50,60 mm < 65 mm. Nilai penurunan yang tertinggi terletak di Kecamatan Sipatana dengan kondisi asli muka air tanah asli ( $z < B$ ) sebesar 666,40 > 65 mm dan kondisi muka air tanah rencana ( $d_w > D_f$ ) sebesar 705,60 mm > 65 mm.

**Kata Kunci:** Fondasi Dangkal, Muka Air Tanah, Penurunan, GEO5.

### PENDAHULUAN

Fondasi dalam suatu bangunan merupakan bagian paling bawah dan berhubungan langsung dengan tanah (Karundeng, dkk., 2021). Fondasi

merupakan suatu konstruksi pada bagian dasar struktur yang berfungsi untuk meneruskan beban dari bagian atas ke lapisan di bawahnya

(Darwis, dkk., 2022). Berdasarkan fungsi dari fondasi yang sangat penting dalam sebuah bangunan, fondasi harus didesain secara teliti agar konstruksi di atasnya dapat dipikul dan berdiri dengan kokoh. Apabila dalam mendesain suatu fondasi tidak mencapai tanah keras maka akan terjadi penurunan (Kalogo, dkk, 2021). Perilaku dari fondasi terutama bergantung pada sifat-sifat fisik serta kondisi tanah dibawah permukaan (Metang, dkk., 2013).

Kota Gorontalo merupakan daerah yang saat ini semakin berkembang di Provinsi Gorontalo. Dampak dari hal tersebut membuat pembangunan di Kota Gorontalo semakin meningkat. Dalam pembangunan gedung diperlukan banyak informasi data dan kajian untuk menunjang pembangunannya, salah satunya adalah data karakteristik tanah. Pada dasarnya tanah dengan daya dukung rendah akan lebih beresiko mengalami penurunan yang besar hal tersebut juga menjadi penentu fondasi yang direncanakan baik atau tidak.

Pada umumnya masyarakat membangun gedung sering mengabaikan kondisi di bawah fondasi sehingga dalam perencanaan fondasi dangkal perlu diketahui kondisi tanah di bawahnya. Hal ini dikarenakan kondisi tanah yang berbeda-beda. Pihak pelaksana pembangunan biasanya menganggap bahwa bentuk fondasi dan dimensi bisa dirancang tanpa harus melihat fungsi dari gedung, karakteristik tanah di bawah fondasi dan besarnya beban yang bekerja.

## KAJIAN TEORITIS

### Fondasi

Fondasi adalah struktur bagian bawah yang umumnya terletak di bawah permukaan tanah yang berfungsi untuk meneruskan gaya yang diterimanya ke lapisan tanah pendukung (Rizolla dan Apriyanti, 2015). Fondasi biasanya dibedakan menjadi dua bagian yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal adalah fondasi yang mendukung beban

secara langsung. Pada umumnya fondasi dangkal berupa fondasi telapak, memanjang, dan rakit (Muda, 2016). Fondasi telapak pada umumnya dibangun di atas tanah pendukung fondasi dengan membuat suatu tumpuan yang bentuk dan ukurannya sesuai dengan beban bangunan dan kapasitas dukung tanah fondasi (Hardiyatmo, 2018). Kekuatan fondasi dangkal terdapat pada luas alasnya atau luas bidang kontak terhadap lapisan tanah pendukungnya, karena fondasi ini berfungsi untuk meneruskan sekaligus meratakan beban yang diterima oleh tanah (Fauzi dkk., 2016).

### Penurunan

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Jika seluruh permukaan tanah di bawah dan di sekitar bangunan turun secara seragam dan penurunan terjadi tidak berlebihan maka turunya bangunan akan tidak tampak oleh pandangan mata dan penurunan yang terjadi tidak menyebabkan kerusakan bangunan (Sholihah dkk, 2019). Apabila satu bagian dari konstruksi turun melebihi dari bagian lain, maka akan terjadi distorsi pada struktur dan tentunya akan sangat berbahaya dibanding kalau terjadi penurunan secara merata atau seragam. Penurunan fondasi terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh dapat dibagi menjadi tiga komponen yaitu penurunan-segera, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder (Metang, dkk., 2013). Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut yang dinyatakan dalam Persamaan 1 (Hardiyatmo, 2020).

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (1)$$

dengan,

$S$  : penurunan total (m),

$S_i$  : penurunan segera (m),

$S_c$  : penurunan konsolidasi primer (m),

$S_s$  : penurunan konsolidasi sekunder (m).

Besarnya sebuah penurunan bergantung pada karakteristik tanah dan penyebaran tekanan fondasi ke tanah di bawahnya.

Penurunan fondasi bangunan dapat diestimasi dari hasil-hasil uji laboratorium pada contoh-contoh tanah tak terganggu yang diambil dari pengeboran, atau dari persamaan-persamaan empiris yang dihubungkan dengan hasil pengujian di lapangan secara langsung (Hardiyatmo, 2020).

### Penurunan Segera

Penurunan seketika (penurunan segera) adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0-7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir, dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan ( $S_r\%$ ) > 90 % (Mina, dkk., 2017). Pada tanah homogen dengan tebal yang tak terhingga persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari fondasi yang terletak di permukaan tanah yang homogen seperti ditunjukkan pada Persamaan 2 (Fahriani dan Apriyanti, 2015)

$$S_i = \frac{q_n B}{E} (1 - \mu^2) I_p \quad (2)$$

dengan,

$S_i$  : penurunan-segera (m),

$q$  : tekanan pada dasar fondasi ( $\text{kN/m}^2$ ),

$B$  : lebar fondasi (m),

$E$  : modulus elastis ( $\text{kN/m}^2$ ) (Tabel 2),

$\mu$  : poisson ratio (Tabel 1),

$I_p$  : faktor pengaruh (Tabel 3).

Tabel 1. Perkiraan *Poisson Rasio* ( $\mu$ ) (Hardiyatmo, 2020)

| Macam tanah                               | <i>Poisson Rasio</i><br>( $\mu$ ) |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| Lempung jenuh                             | 0,4 – 0,5                         |
| Lempung tak jenuh                         | 0,1 – 0,3                         |
| Lempung berpasir                          | 0,2 – 0,3                         |
| Lanau                                     | 0,3 – 0,35                        |
| Pasir padat                               | 0,2 – 0,4                         |
| Pasir kasar (angka pori, $e$ = 0,4 – 0,7) | 0,15                              |
| Pasir halus (angka pori, $e$ = 0,4 – 0,7) | 0,25                              |

| Macam tanah                          | <i>Poisson Rasio</i><br>( $\mu$ ) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Batu (agak tergantung dari macamnya) | 0,1 – 0,4                         |
| Loess                                | 0,1 – 0,3                         |

Tabel 2. Perkiraan Modulus Elastis ( $E$ ) (Look, 2007) (Hardiyatmo, 2020)

| Tipe                              | Kondisi          | Modulus Elastis (E) (kPa) |                 |
|-----------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| Kerikil                           | Longgar          | 25.000 – 50.000           |                 |
|                                   | Kepadatan sedang | 50.000 – 100.000          |                 |
|                                   | Padat            | 100.000 – 200.000         |                 |
| Pasir butiran sedang sampai kasar | Sangat longgar   | < 5.000                   |                 |
|                                   | Longgar          | 3.000 – 10.000            |                 |
|                                   | Kepadatan sedang | 8.000 – 30.000            |                 |
|                                   | Padat            | 25.000 – 50.000           |                 |
|                                   | Sangat padat     | 40.000 – 100.000          |                 |
| Pasir halus                       | Longgar          | 5.000 – 10.000            |                 |
|                                   | Kepadatan sedang | 10.000 – 25.000           |                 |
|                                   | Padat            | 25.000 – 50.000           |                 |
| Lanau                             |                  | Jangka pendek             | Jangka panjang  |
|                                   | Lunak            | < 10.000                  | < 8.000         |
|                                   | Kaku             | 10.000 – 20.000           | 8.000 – 5.000   |
|                                   | Keras            | > 20.000                  | > 15.000        |
| Lempung                           |                  | Jangka pendek             | Jangka panjang  |
|                                   | Sangat lunak     | < 3.000                   | < 2.000         |
|                                   | Lunak            | 2.000 – 7.000             | 1.000 – 5.000   |
|                                   | Sedang           | 5.000 – 12.000            | 4.000 – 8.000   |
|                                   | Kaku             | 10.000 – 25.000           | 7.000 – 20.000  |
|                                   | Sangat kaku      | 20.000 – 50.000           | 15.000 – 35.000 |
|                                   | Keras            | 40.000 – 80.000           | 30.000 – 60.000 |

Nilai faktor bergantung pada lokasi titik yang ditinjau dimana penurunan akan dihitung, bentuk dan kekakuan fondasi. Schleicher (2015) dan Lee (1962) dalam (Hardiyatmo, 2020) mengusulkan faktor pengaruh  $I_p$  dan  $I_m$  untuk fondasi kaku pada pembebanan eksentris atau pembebanan yang menimbulkan momen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor Pengaruh  $I_m$  (Lee, 1962) dan  $I_p$  (Schleicher, 1962) untuk Fondasi Kaku, dan Faktor Pengaruh Untuk Fondasi Fleksibel (Hardiyatmo, 2020)

| Bentuk Fondasi        | Fleksibel ( $I_p$ ) |       |           | Kaku  |       |
|-----------------------|---------------------|-------|-----------|-------|-------|
|                       | Pusat               | Sudut | Rata-rata | $I_p$ | $I_m$ |
| Lingkaran             | 1,00                | 0,64  | 0,85      | 0,88  |       |
| Bujur sangkar         | 1,12                | 0,36  | 0,95      | 0,82  | 3,70  |
| Empat persegi panjang |                     |       |           |       |       |
| L/B=1,5               | 1,36                | 0,68  | 1,20      | 1,06  | 4,12  |
| 2,0                   | 1,53                | 0,77  | 1,31      | 1,20  | 4,38  |
| 5,0                   | 2,10                | 1,05  | 1,83      | 1,70  | 4,82  |
| 10,0                  | 2,52                | 1,26  | 2,25      | 2,10  | 4,93  |
| 100,0                 | 3,38                | 1,69  | 2,96      | 3,40  | 5,06  |

### Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi terdiri dari 2 tahap yaitu tahap penurunan konsolidasi primer dan tahap penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan konsolidasi primer adalah penurunan yang terjadi sebagai hasil pengurangan volume tanah akibat aliran air meninggalkan zona tertekan yang diikuti oleh pengurangan kelebihan tekanan air pori (*excess pore water pressure*) (Hardiyatmo, 2020). Tanah pada kedalaman tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif maksimum yang pernah dialami sebelumnya (Susiazti, dkk., 2020). Penurunan konsolidasi primer dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 (Hardiyatmo, 2020).

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \quad (3)$$

Lempung normal konsolidasi

$$S_c = \frac{c_c}{1 + e_0} H \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \quad (4)$$

Lempung terkonsolidasi berlebihan:

1. Jika  $p_1' < p_c'$

$$S_c = \frac{c_r}{1 + e_0} H \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \quad (5)$$

dengan  $p_0' + \Delta p = p_1'$

2. Jika  $p_0' < p_c' < p_1'$

$$S_c = \frac{c_r}{1 + e_0} H \log \frac{p_c'}{p_0'} + \frac{c_c}{1 + e_0} H \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_c'} \quad (6)$$

dengan,

$S_c$  : penurunan konsolidasi (m),

$\Delta e$  : perubahan angka pori akibat pembebanan,

$p_c'$  : tekanan prakonsolidasi (kN/m<sup>2</sup>),

$c_r$  : indeks pemampatan kembali (cm<sup>2</sup>/det),

$p_0'$  : tekanan overburden efektif (kN/m<sup>2</sup>),

$\Delta p$  : tambahan tekanan (kN/m<sup>2</sup>),

$c_c$  : indeks pemampatan (cm<sup>2</sup>/det),

$c_r$  : indeks pemampatan kembali (cm<sup>2</sup>/det),

$e_0$  : angka pori awal,

$e_1$  : angka pori saat berakhirnya konsolidasi,

$H$  : tebal lapisan tanah yang ditinjau (m).

Akibat beban fondasi, lapisan lempung akan mengalami deformasi lateral, dan kelebihan tekanan air pori yang timbul akan kurang dari tambahan tekanan lateral vertikal akibat bebannya. Pada kondisi ini tekanan air pori akan bergantung pada koefisien tekanan air pori. Skempton dan Bjerrum dalam Hardiyatmo (2020), menyarankan koreksi penurunan konsolidasi yang dihitung berdasarkan hasil uji laboratorium dengan menggunakan persamaan koreksi penurunan konsolidasi yang dinyatakan dalam Persamaan 7 (Hardiyatmo, 2020)

$$S_c = \beta S_{c(oed)} \quad (7)$$

dengan,

$S_{c(oed)}$  : penurunan hasil uji konsolidasi laboratorium (m),

$\beta$  : koreksi penurunan konsolidasi (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai  $\beta$  untuk Koreksi Penurunan Konsolidasi (Hardiyatmo, 2020)

| Macam Lempung                            | $\beta$ |
|------------------------------------------|---------|
| Lempung sangat sensitive                 | 1-1,2   |
| Lempung terkonsolidasi normal            | 0,7-1,0 |
| Lempung terkonsolidasi berlebihan        | 0,5-0,7 |
| Lempung terkonsolidasi sangat berlebihan | 0,2-0,5 |

### Penurunan Ijin

Penurunan ijin dari suatu konstruksi bangunan atau toleransi penurunan bergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis, tinggi, kekakuan, fungsi bangunan, besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya (Hardiyatmo, 2020). Penurunan maksimum dapat diprediksi dengan ketepatan yang memadai namun tidak untuk penurunan tak seragam Penurunan fondasi akibat beban statis tidak boleh sangat ekstrim dimana dapat menimbulkan retak atau kerusakan/cacat pada sistem fondasi (Agung, dkk., 2020). Skempton dan MacDonald dalam Hardiyatmo (2020) menyarankan batas-batas penurunan maksimum, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Batas Penurunan Maksimum (Hardiyatmo, 2020)

| Jenis Fondasi                                             | Batas penurunan fondasi (mm) |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
| Fondasi terpisah (isolated foundation) pada Tanah lempung | 65                           |
| Fondasi terpisah pada tanah dasar pasir                   | 40                           |
| Fondasi rakit pada tanah lempung                          | 65-100                       |
| Fondasi rakit pada tanah pasir                            | 40-65                        |

### GEO5 Suite 2020

GEO5 merupakan sebuah perangkat lunak geoteknik berbayar yang dikeluarkan oleh *Fine Software*. GEO5 dikhususkan untuk menghitung dan menganalisis masalah-masalah yang berkaitan dengan pekerjaan tanah, misalnya menganalisis dinding penahan tanah,

menganalisis penurunan tanah, menghitung kapasitas dukung dan penurunan fondasi, dan lain sebagainya. Perangkat lunak GEO5 dilengkapi standar peraturan dari Denmark, American Concrete Institute ACI. Perhitungan penurunan fondasi terdapat metode Janbu, metode *analysis oedometric modulus*, analisis menurut NEN (Buisman, ladd) dan lain sebagainya.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Kota Gorontalo merupakan ibukota Provinsi Gorontalo. Secara geografis mempunyai luas 79,59 km<sup>2</sup> atau 0,71% dari luas Provinsi Gorontalo (Badan Pusat Statistik Kota Gorontalo, 2021). Penelitian ini dilakukan tiga kecamatan di Kota Gorontalo Setiap kecamatan terdapat satu titik pengamatan sumur warga di sekitar lokasi dan satu titik pengambilan sampel tanah.

Lokasi pengamatan sumur dilakukan di dekat titik pengambilan sampel tanah yaitu Kecamatan Duingi di Kelurahan Tamulabotao Selatan, Kecamatan Sipatana di Kelurahan Tanggikiki, dan Kecamatan Kota Barat di Kelurahan Buliide. Beberapa kondisi umum di lokasi penelitian yaitu sebagai berikut:

#### 1. Kondisi Iklim

Secara astronomis wilayah ini terletak antara 0°28'17" – 0°35'36" Lintang Utara dan 122°59'44" – 123°5'59" Bujur Timur. Kota Gorontalo terdapat dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Pengamatan muka air tanah pada sumur dilakukan saat musim hujan.

#### 2. Kondisi Topografi

Kondisi topografi Kota Gorontalo adalah tanah datar yang dilalui tiga buah sungai yang bermuara di Teluk Tomini, Pelabuhan Gorontalo. Kota Gorontalo merupakan dataran rendah yaitu pemukiman di Kota Gorontalo berada di ketinggian 5-18 meter di atas

permukaan laut (Badan Pusat Statistik Kota Gorontalo, 2021)

### 3. Kondisi Geologi

Berdasarkan peta geologi regional lembar Kotamobagu Skala 1:250.000 daerah penelitian berada pada formasi Qpl (endapan danau) yang terdiri dari batu lempung kelabu, batu pasir berbutir halus-kasar (Afandi dan Bachri, 1997). Kota Gorontalo merupakan salah satu daerah yang memiliki deposit lempung cukup besar di Provinsi Gorontalo, hal ini bisa dilihat dari luasnya area persawahan yang ada di Kota Gorontalo (Achmad, 2012).

### Alat dan Bahan Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan alat dan bahan sebagai bahan pendukung dalam suatu penelitian. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Alat

- a. Meteran.
- b. Perangkat lunak *GEO5*
- c. Kamera untuk dokumentasi.
- d. Laptop dan printer.
- e. Tabung untuk sampel tanah
- f. Oven
- g. Timbangan digital
- h. Cawan
- i. Piknometer
- j. Thermometer
- k. Alat cassagrande
- l. *Grooving tool* (alat pembuat alur)
- m. Saringan
- n. Sieve shaker
- o. Alat uji permeabilitas laboratorium
- p. Alat uji geser langsung (*direct shear apparatus*)
- q. Alat uji tekan bebas (*unconfined compression test*)
- r. Alat uji konsolidasi (konsolidometer)

#### 2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa tanah dan air

untuk pengujian karakteristik. Tanah yang diuji merupakan hasil bor berupa tanah lempung dan tanah campuran pasir.

### Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu data primer. Sumber data yang digunakan yaitu sebagai berikut:

#### *Data primer*

Data primer yang didapatkan yaitu data tanah dari uji tekan bebas, uji geser langsung, uji konsolidasi, uji berat jenis, uji berat volume, uji permeabilitas, uji batas-batas atterberg, dan uji kadar air. Data tinggi muka air tanah berdasarkan sumur warga di sekitar lokasi penelitian.

Perhitungan analisis penurunan fondasi digunakan data beban struktur bangunan MAN Insan Terpadu Cendekia Gorontalo yang diambil sebagai pendekatan gedung dua lantai. Berat  $1 \text{ m}^2 = 19,04 \text{ kN}$  dengan berdasarkan denah gambar bangunan Asrama MAN Insan Terpadu Cendekia Gorontalo (Suna, 2021).

### Metode Analisis Data

Pada penelitian ini perhitungan penurunan fondasi menggunakan pemodelan perangkat lunak *GEO5*. Analisis menggunakan pemodelan *GEO5 spread footing* menghasilkan nilai penurunan dengan memperhitungkan kondisi muka air tanah.

### Tahapan Penelitian

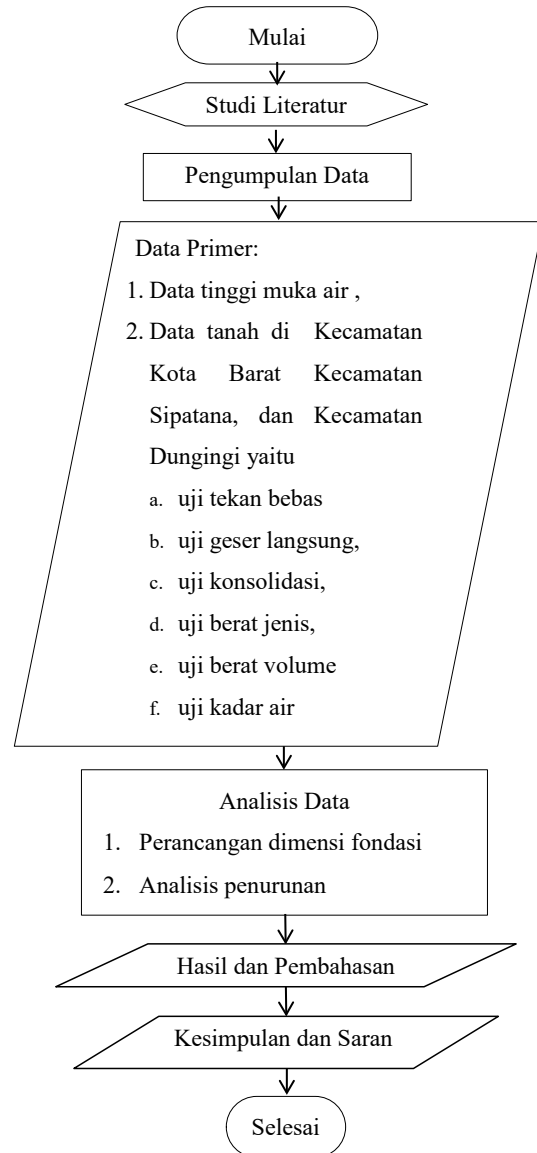
Tahapan pelaksanaan penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Tahapan pertama yaitu dilakukan identifikasi dan studi literature berupa jurnal penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian. Analisis antara data lapangan dengan teori yang ada pada studi literatur sesuai dengan tujuan penelitian.
2. Tahapan kedua yaitu pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini. Data yang diperlukan yaitu data

karakteristik tanah dan tinggi muka air tanah. Data karakteristik tanah hasil pengujian di laboratorium yaitu berupa hasil uji kadar air, uji berat volume tanah, uji distribusi ukuran butiran, uji batas-batas atterberg, uji berat jenis, uji tekan bebas, uji geser langsung, uji konsolidasi dan uji permeabilitas.

3. Tahapan ketiga yaitu analisis data. Pada tahapan ini dilakukan perencanaan dimensi dan analisis perhitungan menggunakan pemodelan *GEO5 spread footing*. Analisis dengan memperhitungkan karakteristik tanah dan tinggi muka air tanah disekitar lokasi penelitian.
4. Tahapan keempat yaitu membuat pembahasan berdasarkan hasil yang dianalisis menggunakan perangkat lunak *GEO5* yang disesuaikan dengan teori yang ada.
5. Tahapan kelima yaitu membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis dari penelitian.

Secara sistematis tahapan penelitian ditunjukkan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameter Tanah di Lokasi Penelitian

Klasifikasi tanah merupakan cara yang digunakan dalam menentukan jenis tanah agar dapat memperoleh gambaran sepiintas tentang sifat-sifat tanah (Setia, dkk., 2020). Parameter tanah diperoleh dari hasil pengujian laboratorium. Berikut sifat fisik dan mekanis tanah pada setiap lokasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

| No | Data      | Satuan | Kota Barat | Sipatana | Duingi  |
|----|-----------|--------|------------|----------|---------|
| 1. | $D_f$ UDS | M      | 1,5-2,0    | 0,4-0,8  | 1,5-2,0 |

| No | Data                  | Satuan                | Kota Barat | Sipatana | Dungingi |
|----|-----------------------|-----------------------|------------|----------|----------|
| 2. | $d_w$                 | M                     | -          | 0,91     | 4,44     |
| 3. | $\gamma_b$            | kN/ m <sup>3</sup>    | 18,80      | 15,20    | 17,50    |
| 4. | $\gamma_{sat}$        | kN/m <sup>3</sup>     | 21,18      | 18,96    | 20,61    |
| 5. | $G_s$                 | kN/ m <sup>3</sup>    | 2,53       | 2,53     | 2,61     |
| 6. | Batas-Batas Atterberg |                       |            |          |          |
|    | $LL$                  | %                     | 54,13      | 30,88    | 23,51    |
| 7. | Uji Konsolidasi       |                       |            |          |          |
|    | a. $c_r$              | Cm <sup>2</sup> / det | 0,05       | 0,16     | -        |
|    | b. $p_c'$             | kN/ m <sup>2</sup>    | 98,10      | 200,00   | -        |
| 8. | $e$                   | -                     | 0,79       | 1,33     | 0,46     |
| 9. | $E$                   | kPa                   | 4.169      | 1.124    | 8.685    |

### Letak Muka Air

Kondisi muka air tanah asli dan muka air tanah rencana ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Letak Muka Air Tanah

| No | Lokasi                                  | B<br>(m) | $(D_f)$<br>(m) | Tinggi Muka Air Tanah (m) |             |
|----|-----------------------------------------|----------|----------------|---------------------------|-------------|
|    |                                         |          |                | MAT Asli                  | MAT Rencana |
| 1. | Kelurahan Buliide, Kota Barat           | 1,50     | 1,50           | -                         | 1,00        |
| 2. | Kelurahan Tanggikiki, Sipatana          | 1,00     | 0,70           | 0,80                      | 0,30        |
| 3. | Kelurahan Tomulabutao Selatan, Dungingi | 1,50     | 1,50           | 4,44                      | 1,44        |

### Analisis Penurunan Fondasi Dangkal

Analisis penurunan fondasi menggunakan perangkat lunak *GEO5*. Analisis ini menganggap bahwa tanah homogen tak terhingga. Metode yang digunakan disesuaikan dengan jenis tanah. Untuk analisis pada jenis tanah lempung lunak menggunakan analisis compression index sedangkan untuk tanah campuran pasir longgar menggunakan analisis oedometric modulus. Hasil analisis penurunan ditunjukkan pada Tabel 8.

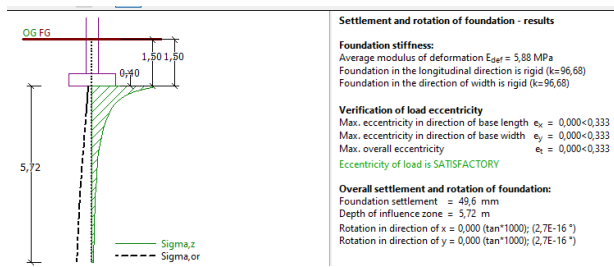
Tabel 8. Hasil Analisis Penurunan Total Muka Air Tanah Asli dan Rencana.

| No | Lokasi                                            | Jenis Tanah   | Penurunan Total ( $S_t$ ) MAT Asli (mm) | Penurunan Total ( $S_t$ ) MAT Rencana (mm) |
|----|---------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. | Kelurahan Buliide, Kecamatan Kota Barat           | Pasir longgar | 49,60                                   | 50,60                                      |
| 2. | Kelurahan Tanggikiki, Kecamatan Sipatana          | Lempung lunak | 666,40                                  | 705,60                                     |
| 3. | Kelurahan Tamulabutao Selatan, Kecamatan Dungingi | Pasir longgar | 48,60                                   | 49,40                                      |

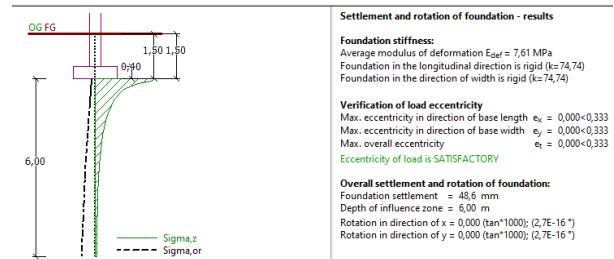
Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai hasil analisis penurunan menggunakan *software GEO5* disetiap lokasi dan setiap kondisi tinggi muka air tanah memiliki nilai penurunan yang berbeda. Pada lokasi dengan jenis tanah campuran pasir longgar dan kondisi tinggi muka air tanah asli sangat dalam memiliki nilai penurunan yang lebih rendah, dibandingkan dengan nilai penurunan yang dihasilkan untuk kondisi tinggi muka air tanah rencana yang dangkal. Hal ini juga terjadi pada lokasi dengan jenis tanah lempung, dimana nilai penurunan untuk kondisi muka air tanah asli yang sangat dalam menghasilkan nilai penurunan yang lebih rendah, dibandingkan dengan nilai penurunan yang dihasilkan untuk kondisi muka air tanah rencana yang dangkal. Perubahan nilai penurunan tersebut mengindikasikan bahwa semakin jauh muka air tanah dari dasar fondasi membuat nilai penurunan yang terjadi semakin kecil.

Persentase pengaruh muka air tanah pada penurunan di lokasi Kecamatan Kota Barat sebesar 0,02%, Kecamatan Sipatana sebesar 0,06%, dan Kecamatan Dungingi sebesar 0,02%. Penurunan yang terjadi pada tiga kecamatan ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

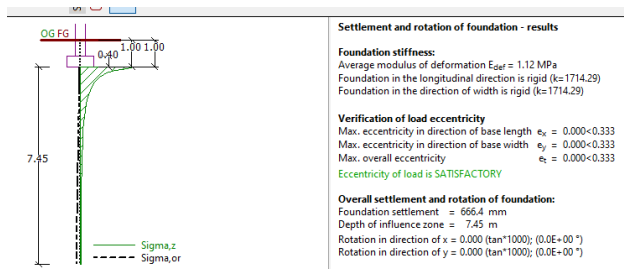




Gambar 2. Penurunan pada Kecamatan Kota Barat.



Gambar 3. Penurunan pada Kecamatan Dungi.



Gambar 4. Penurunan pada Kecamatan Sipatana.

## KESIMPULAN

Penurunan yang terjadi pada fondasi telapak bujur sangkar di Kecamatan Kota Barat, Kecamatan Sipatana, dan Kecamatan Dungi pada Kota Gorontalo berdasarkan hasil analisis dipengaruhi oleh kondisi muka air tanah. Hal ini disebabkan karena semakin jauh muka air tanah dari dasar fondasi membuat nilai penurunan semakin kecil. Nilai penurunan yang terjadi untuk dua kondisi muka air tanah dengan menggunakan beban yang sama juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah, dan dimensi fondasi. Nilai penurunan terendah terletak di Kecamatan Kota Barat pada kondisi muka air tanah asli  $z > B$  sebesar 49,60 mm < 65 mm dan kondisi muka air tanah rencana sebesar 50,60 mm < 65 mm sedangkan yang tertinggi

di Kecamatan Sipatana dengan kondisi muka air tanah asli sebesar 666,40 > 65 mm dan kondisi muka air tanah rencana  $z > B$  sebesar 705,60 mm > 65 mm.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis dan tak lupa pula ucapan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Gorontalo yang telah memberi dukungan dalam bentuk fasilitas peralatan laboratorium serta legalitas terhadap penelitian ini.

## REFERENSI

- Achmad, F., 2012. *Pemetaan Kapasitas Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir di Kota Gorontalo*. [Online] Available at: <https://reportstory.ung.ac.id/karyailmiah/show/124/pemetaan-kapasitas-dukung-tanah-berdasarkan-data-sondir-di-kota-gorontalo.html> [Accessed 14 November 2021].
- Afandi, T. & Bachri, S., 1997. *Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Agung, P. A. M., Sijabat, J. & Khairunnisa, N. S., 2020. Analisis dan Desain Dinamis Fondasi Dangkal Berdasarkan Data CPT. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, I(2), pp. 1-13.
- Badan Pusat Statistik Kota Gorontalo, 2021. *Kota Gorontalo Dalam Angka Gorontalo (Gorontalo Municipality In Figures 2021)*. 1 ed. Kota Gorontalo: BPS Kota Gorontalo.
- Darwis, F., Mulya, E. R. & Djafar, S., 2022. Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Berdasarkan Hasil Uji CPT (Studi Kasus Kawasan Pesisir Pantai Pulau Zum-zum. *Serambi Engineering*, VII(3), pp. 3624-3632.
- Fahriani, F. & Apriyanti, Y., 2015. Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Fondasi Pada Daerah Pesisir Pantai Utara

- Kabupaten Bangka. *Fropil*, III(2), pp. 89-95.
- Hardiyatmo, H. C., 2018. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. 3 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C., 2020. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. 4 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kalogo, E., Bela, K. R. & Sianto, P., 2021. Analisis Penurunan Segera pada Pondasi Telapak Berdasarkan Nilai Daya Dukung Terzaghi, Meyerhof, Brinch Hansen dan Vesic. *Teknik Sipil ITP*, VIII(1), pp. 15-22.
- Karundeng, A., Manalip, H. & Wallah, S. E., 2021. Analisis Teoritis Struktur Perkuatan Fondasi Telapak Pada Bangunan Gedung untuk Bangunan Alih Fungsi Dengan Menggunakan SAP 200. *Ilmiah Media Engineering*, XI(1), pp. 67-74.
- Metang, O. S., Balamba, S., Sompie, O. B. & Sarajar, A. N., 2013. Analisis Penurunan Pada Fondasi Rakit Jenis Pelat Rata dengan Metode Konvensional. *Sipil Statik*, I(11), pp. 718-729.
- Mina, E., Kusuma, R. I. & N., 2017. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Konstruksi Sarang Laba-laba Pada Gedung Satuan Kerja Perangkat Daerah (SKPD) 1 Pusat Pemerintahan Tangerang Selatan. *Fondasi*, VI(1), pp. 23-32.
- Muda, A., 2016. Analisis Daya Dukung Tanah Fondasi Dangkal Berdasarkan Data Laboratorium. *Intekna*, XVI(1), pp. 1-6.
- Rizolla, I. A. & Apriyanti, Y., 2015. Analisis Daya Dukung Fondasi Tapak dengan Menggunakan Perkuatan Cerucuk Dibandingkan dengan Fondasi Sumuran. *Fropil*, 3(1), pp. 29-40.
- Setia, S. O., Sophian, R. I. & Zakaria, Z., 2020. Penurunan Muka Air Tanah Akibat Beban Fondasi Pada Tempat Calon Pembangunan Embung UNPAD, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*, IV(6), pp. 550-563.
- Sholihah, S. M., M, I. H. & Sulistyowati, T., 2019. Pengaruh Variasi Kedalaman Muka Air Terhadap Keruntuhan Pondasi Pada Tanah Pasir Pantai Dengan Perkuatan Anyaman Bambu. *Spektrum Sipil*, VI(1), pp. 69-77.
- Suna, U., 2021. *Pembangunan Gedung Asrama Terpadu MAN Insan Cendekia Gorontalo*, Gorontalo: s.n.
- Susiazti, H., Widiastuti, M. & Widayati, R., 2020. Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD). *Teknologi Sipil*, IV(1), pp. 1-8.

