

## ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LUNAK DI DAERAH DENGAN MUKA AIR TANAH DANGKAL (STUDI KASUS PADA DAERAH SUWUNG KAUH)

I Gusti Ngurah Putu Dharmayasa<sup>1)</sup>

1) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Pendidikan Nasional

### ABSTRAK

*Perencanaan pondasi perlu diperhatikan dalam perencanaan bangunan agar tercapai suatu kestabilan dan keamanan. Dalam perencanaan pondasi dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya kondisi tanah. Dengan kondisi tanah yang berbeda dalam hal ini kedalaman yang berbeda dan dengan adanya muka air tanah yang dangkal mempengaruhi perencanaan pondasi. Seperti halnya tanah di daerah Suwung yang berdaya dukung rendah dengan muka air tanah yang cukup dangkal, sehingga perlu diketahui tipe pondasi dangkal yang dapat memenuhi syarat untuk kondisi tanah di Suwung. Untuk mengetahui karakteristik tanah dilakukan dengan pengujian di laboratorium yaitu pegujian sifat fisik dan mekanik. Pengujian sifat fisik tanah yaitu pengujian kadar air ( $W_c$ ), berat jenis ( $G_s$ ), batas-batas Aterberg dan berat volume tanah ( $\gamma$ ). Pegujian mekanik dengan tes triaksial UU.*

*Berdasarkan tes triaksial UU yang dilakukan di laboratorium diperoleh daya dukung tanah ( $q_u$ ), nilai kohesi ( $c$ ), dengan sudut geser ( $\phi$ ) untuk tanah yang terletak di atas muka air tanah yaitu tanah pada kedalaman 1 meter dan tanah yang terletak di bawah muka air tanah yaitu tanah pada kedalaman 2 dan 4 meter. Dari nilai daya dukung tanah yang dihitung dengan rumus Terzaghi, diperoleh besarnya nilai daya dukung tanah terendah pada kedalaman 1 meter sebesar  $54,09 \text{ kN/m}^2$ , nilai daya dukung terendah pada kedalaman 2 meter sebesar  $57,37 \text{ kN/m}^2$  dan pada kedalaman 4 meter diperoleh daya dukung terendah  $66,51 \text{ kN/m}^2$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perencanaan pondasi telapak biasa dengan beban aksial kolom yang cukup besar  $P = 2253,122 \text{ kN}$  tidak memenuhi syarat, karena akan menutupi lebih dari sebagian areal bangunan, sehingga dalam hal ini sebaiknya dipergunakan jenis pondasi dangkal yang lain yaitu pondasi pelat. Pondasi pelat yang direncanakan adalah pondasi pelat dengan balok. Pondasi pelat direncanakan pada kedalaman 1 meter karena daya dukung tanah telah memenuhi syarat. Setelah melakukan perhitungan maka diperoleh bahwa pondasi pelat dengan balok dengan tebal pelat 25 cm dan balok pondasi  $45 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$ , dapat memenuhi persyaratan sesuai daya dukung tanah yang diijinkan.*

Kata kunci: pondasi dangkal, lempung lunak, muka air tanah dangkal.

## 1 PENDAHULUAN

Semua konstruksi bangunan sipil akan ditopang oleh tanah, termasuk gedung-gedung, jembatan, jalan dan berbagai bangunan air seperti bendungan dan saluran-saluran irigasi. Oleh karena itu kondisi tanah dasar sangat mempengaruhi kestabilan dan keamanan konstruksi bangunan di atasnya.

Salah satu unsur bangunan yang langsung berhubungan dengan tanah dasar adalah pondasi karena pondasi merupakan struktur terbawah dari suatu bangunan yang akan meneruskan beban-beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Sehingga dalam perencanaan pondasi sangat diperlukan pengetahuan mengenai jenis tanah dasar di lokasi suatu bangunan yang akan dibangun.

Kondisi tanah dasar di suatu tempat berbeda-beda, maksudnya adalah kemungkinan jenis tanah pada kedalaman tertentu di suatu lokasi berbeda-beda atau juga kemungkinan kepadatan tanahnya berbeda-beda. Terlebih lagi apabila muka air tanah di lokasi tersebut dangkal, sehingga pada kedalaman tertentu tanah lempung tersebut selalu terendam air. Dengan adanya perbedaan kondisi tanah sebagaimana tersebut di atas maka akan sangat mempengaruhi daya dukung

tanah dalam menerima beban sebagai akibat dari jenis tanah dan kepadatan yang berbeda serta adanya perubahan kadar air tanah.

Apabila pada tanah lempung tersebut direncanakan suatu bangunan dengan pondasi dangkal, maka tipe pondasi seperti apakah yang memenuhi syarat untuk bangunan tersebut.

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Identifikasi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai akumulasi mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Di antara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang senyawanya di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik (R.F. Craig, 1984).

Sifat-sifat dan karakter tanah tergantung dari kondisi tofografi dan geologi yang membentuk tanah tersebut. Sifat-sifat fisik tanah banyak tergantung dari faktor ukuran, bentuk dan komposisi kimia butiran.

**Tabel 1 Batasan – Batasan Ukuran Golongan Tanah**

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachussetts Institut Of Technology	>2	2 - 0,006	0,006 - 0,002	< 0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0,005	0,005 - 0,002	<0,002
American Association Of State Highway And Transportation Official (AASHTO)	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps Of Engineers, U.S. Bureau Of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 - 0,075	Halus (Yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

Sumber: Braja M. Das, 1993

## 2.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah penting dilakukan karena digunakan sebagai dasar dalam merencanakan suatu bangunan agar bangunan tersebut stabil, aman dan ekonomis. Tujuan penyelidikan tanah antara lain:

1. Menentukan sifat-sifat fisik dan mekanik tanah.
2. Menentukan daya dukung tanah
3. Menentukan tipe pondasi yang akan digunakan disesuaikan dengan daya dukung tanah.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan langsung di lapangan dan dapat juga dilakukan di laboratorium.

Penyelidikan tanah di lapangan dapat dilakukan dengan cara boring, CBR, SPT, Test Pembebanan dan lain-

lainnya. Untuk memperoleh contoh tanah asli dalam tugas akhir ini dilakukan dengan cara boring, dengan mengambil contoh tanah di atas muka air tanah dan di bawah muka air tanah. Selanjutnya contoh tanah tersebut diuji di laboratorium. Penyelidikan tanah di laboratorium dapat berupa tes fisik dan tes mekanik tanah. Test fisik meliputi tes kadar air ( $W_c$ ), berat jenis ( $G_s$ ) atau “*specific gravity*”, batas-batas Atterberg, berat volume tanah serta tes mekanik tanah yaitu tes triaksial.

Kadar air ( $W_c$ ) didefinisikan sebagai perbandingan berat antara air dan tanah dengan bagian yang padat (*solid*).

$$(W_c) = \frac{\text{Berat Air } (W_w)}{\text{Berat Tanah Kering } (W_s)} \times 100\%$$

Berat jenis atau ( $G_s$ ) atau “*specific gravity*” adalah perbandingan antara butiran tanah dengan air suling (destilasi) dengan volume yang sama pada temperatur tertentu.

Berat jenis dapat dinyatakan dengan rumus:

$$G_s = \frac{\text{Berat Butir}}{\text{Berat Air Destilasi Dengan Volume Sama}}$$

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Batas-batas Atterberg meliputi: batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), batas susut (*shrinkage limit*) dan indeks plastisitas (*plasticity index*).

$$PI = LL - PL$$

Berat volume tanah adalah merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya.

$$\text{Berat Volume } (\gamma) = \frac{\text{Berat Tanah}}{\text{Volume Tanah}}$$

Tes triaksial merupakan salah satu cara penyelidikan tanah yang dilakukan di laboratorium dengan maksud untuk memperoleh parameter-parameter daya dukung tanah. Dari test triaksial ini dianggap dapat diperoleh parameter-parameter yang lebih baik daripada uji geser yang lainnya. Keuntungan tes triaksial adalah:

1. Kondisi pengaliran dapat dikontrol.
2. Tekanan air pori dapat diukur.
3. Tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi.

Pada tes triaksial ada tiga jenis pengujian pokok:

1. Tak terkonsolidasi tak terdrainase (*unconsolidated undrained*) yaitu pengujian tanpa adanya drainase air pori. Kontrol drainase diperoleh dari pemakaian suatu system tertutup ataupun dari tingkat regangan yang tinggi, sehingga kerutuhan yang terjadi lebih cepat dari yang terdrainase.
2. Terkonsolidasi tak terdrainase (*consolidated undrained*) yaitu pengujian contoh tanah dengan tegangan-tegangan yang terdapat kesegala arah dengan drainase diperbolehkan terjadi. Apabila perubahan volume telah selesai yang diketahui dari pengukuran volume ataupun pengukuran drainase pori, lalu saluran keluar untuk drainase ditutup dan contoh dibebani sampai runtuh. Kadang-kadang tekanan pori juga diukur.

Terkonsolidasi terdrainase (*consolidated drained*) yaitu pengujian yang hampir sama dengan uji CU, kecuali bahwa sesudah konsolidasi drainase diperbolehkan terjadi selama pembebanan. Tingkat pembebanan cukup lambat sehingga tekanan pori yang besar tidak akan terjadi.

### 2.3 Analisis Daya Dukung Terzaghi

Terzaghi (1943) menganalisis daya dukung tanah dengan anggapan pondasi berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar lebar B dan terletak di atas tanah homogen.

$$q_{ult} = c N_c + Df \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma$$

dengan:

$q_{ult}$	=	daya dukung ultimit/ batas
$c$	=	kohesi
$Df$	=	kedalaman pondasi
$B$	=	lebar pondasi
$\gamma$	=	berat volume tanah
$N_c, N_q, N_\gamma$	=	faktor daya dukung tanah

Untuk pondasi berbentuk bujur sangkar dan lingkaran, persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh Terzaghi adalah sebagai berikut:

1. Pondasi bujur sangkar:

$$q_{ult} = 1,3 c N_c + Df \gamma N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$$

2. Pondasi lingkaran:

$q_{ult} = 1,3 c N_c + Df \gamma N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$   
dengan B adalah diameter pondasi (untuk lingkaran).

Persamaan di atas digunakan dengan anggapan bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Sedangkan untuk kondisi keruntuhan geser setempat (*local shear failure*) persamaan untuk pondasi memanjang dinyatakan dengan:

$$q'_{ult} = c' N'_c + Df \gamma N'_q + 0,4 \gamma B N'_\gamma$$

dengan  $c' = \frac{2}{3} c$

Sedangkan daya dukung batas dari tanah untuk pondasi dengan bentuk bujur sangkar dan lingkaran untuk kondisi keruntuhan geser setempat adalah sebagai berikut:

1. Pondasi bujur sangkar:

$$q_{ult} = 1,3 c N_c + Df \gamma N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$$

2. Pondasi lingkaran:

$$q_{ult} = 1,3 c N_c + Df \gamma N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$$

**Tabel 2. Nilai Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi**

$\Phi$	Keruntuhan Geser Umum		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,6	415,1	1153,2

Sumber: I W. Redana (2010)

## 2.4 Pengaruh Muka Air Tanah

Pengaruh muka air tanah terhadap daya dukung tanah:

1. Jika muka air tanah sangat dalam jika dibandingkan lebar pondasi ( $z > B$ ) maka:

$$q_{ult} = c N_c + D_f \gamma_b N_q + 0,5 \gamma_b B N_\gamma$$

2. Jika muka air tanah terletak di atas atau sama dengan dasar pondasinya maka:

$$q_{ult} = c N_c + [\gamma' (D_f - d_w) + \gamma_b d_w] N_q + 0,5 \gamma' B N_\gamma$$

3. Jika muka air tanah di permukaan ( $d_w = 0$ )

$$q_{ult} = c N_c + D_f \gamma' N_q + 0,5 \gamma' B N_\gamma$$

4. Jika muka air tanahnya terletak pada kedalaman  $z$  dari bawah dasar pondasi ( $z < B$ ), maka:

$$q_{ult} = c N_c + D_f \gamma_b N_q + 0,5 \gamma_r B N_\gamma$$

dengan:

$q_{ult}$  = daya dukung ultimit tanah

$c$  = nilai kohesi tanah

$N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor-faktor daya dukung tanah

$D_f$  = kedalaman pondasi

$B$  = lebar pondasi

$\gamma_b$  = berat volume tanah basah

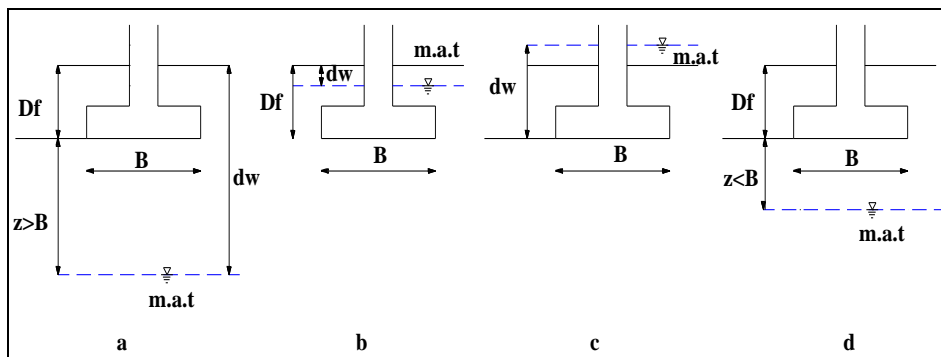
$\gamma'$  = berat volume tanah efektif

=  $\gamma_{sat} - \gamma_{air}$

$d_w$  = kedalaman muka air tanah dari permukaan

$\gamma_r$  = berat volume tanah rata-rata

=  $\gamma' + (z/B)(\gamma_b - \gamma')$



Gambar 1. Pengaruh Muka Air Tanah Pada Daya Dukung

## 3 METODELOGI PENELITIAN

### 3.1 Pemilihan Lokasi

Pengambilan sampel tanah dilakukan di daerah Suwung Kauh. Lokasi ini dipilih karena memiliki tanah lempung yang sesuai dengan kondisi tanah yang akan diteliti karena di daerah suwung kondisi muka air

tanahnya sering mengalami perubahan. Hal ini disebabkan karena daerah suwung dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Ketika air laut pasang muka air tanah akan naik sedang ketika surut muka air tanah turun.

### 3.2 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara random (acak), mengingat daerah suwung daerahnya sangat luas. Sampel diambil dari tiga titik di daerah suwung. Cara pengambilan sampel dengan boring dengan tiap titik pengeboran diambil contoh tanah diatas muka air tanah dan dibawah muka air tanah. Waktu pengambilan sampel diusahakan antara pukul 08.00 – 11.00 wita dengan maksud mengurangi pengaruh panas matahari terhadap sampel yang diambil.

### 3.3 Merencanakan Pondasi Telapak

Langkah-langkah perencanaan pondasi telapak meliputi:

1. Menentukan besarnya momen dan beban yang bekerja pada kolom
2. Menentukan dimensi dari pondasi telapak sesuai dengan persamaan:

$$A = \frac{\Sigma V}{q_a}$$

3. Kontrol dimensi pondasi yang diperoleh dengan tegangan ijin tanahnya.

Untuk beban yang bekerja pada kolom dan tidak mengalami eksentrisitas digunakan persamaan:

$$q = \Sigma V/A$$

Untuk beban yang bekerja pada kolom dengan mengalami eksentrisitas dua arah digunakan persamaan:

$$q = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{M_x \cdot \frac{1}{2} by}{\frac{1}{12} \cdot bx \cdot by^3} \pm \frac{M_y \cdot \frac{1}{2} bx}{\frac{1}{12} \cdot by \cdot bx^3}$$

Untuk beban yang bekerja pada kolom dan mengalami eksentrisitas disalah satu sisinya dapat digunakan persamaan:

$$q = \frac{\Sigma V}{A} \pm \left[ 1 \pm \frac{6 \cdot ex}{L} \right]$$

dan persamaan:

$$q = \frac{4 \cdot \Sigma V}{3 \cdot B(L - 2 \cdot ex)}$$

### 3.4 Perencanaan Pondasi Pelat dengan Balok

Perencanaan Pondasi Pelat dengan Balok dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan tebal pelat yang lebih tipis namun tetap dapat memikul geser pons. Adapun langkah-langkah perencanaan pondasi pelat dengan balok yaitu:

1. Menghitung tebal pelat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisi berdasarkan SKSNI T-15 – 1991 – 03.
2. Menghitung total beban yang bekerja.
3. Menghitung tegangan tanah yang terjadi. Untuk mengontrol tegangan tanah yang terjadi maka ditinjau titik yang paling kritis pada sudut-sudut pelat pondasi.

$$q_{\max} = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x \times y}{I_x} \pm \frac{M_y \times x}{I_y} < q_a$$

#### 4. Menghitung tebal rencana pelat.

Menurut SK SNI T-15-1991-03 tebal pelat harus memenuhi aturan sebagai berikut:

- a. Tidak boleh kurang dengan nilai yang didapat dari:

$$t = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5\beta \left[ \alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]}$$

- b. Tidak boleh kurang dari:

$$t = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta}$$

- c. Tidak perlu lebih dari:

$$t = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36}$$

- d. Dalam segala hal  $t_{min}$  pelat tidak boleh kurang dari:

$$\alpha_m < 2,0 \rightarrow t_{min} = 12,00 \text{ mm}$$

$$\alpha_m < 2,0 \rightarrow t_{min} = 9,00 \text{ mm}$$

dengan:

$t$  = tebal pelat

$f_y$  = tegangan leleh baja

$l_n$  = bentang bersih terpanjang diantara balok penumpu pelat

$\alpha_m$  = nilai rata-rata dari  $\alpha$

$\alpha$  = rasio kekakuan lentur penampang balok dengan kekakuan lentur pelat dengan lebar yang diimbangi secara lateral oleh garis sumbu dari panel yang bersebelahan pada setiap sisi balok.

$$= \frac{E_{cb} \times I_{cb}}{E_{cs} \times I_{cs}}$$

dengan:

$E_{cs}$  = modulus elastisitas pelat

$E_{cb}$  = modulus elastisitas balok

$I_{cb}$  = momen inersia balok

$I_{cs}$  = momen inersia pelat

$\beta$  = rasio dari bentang bersih dalam arah panjang ( $l_n$ ) terhadap arah pendek

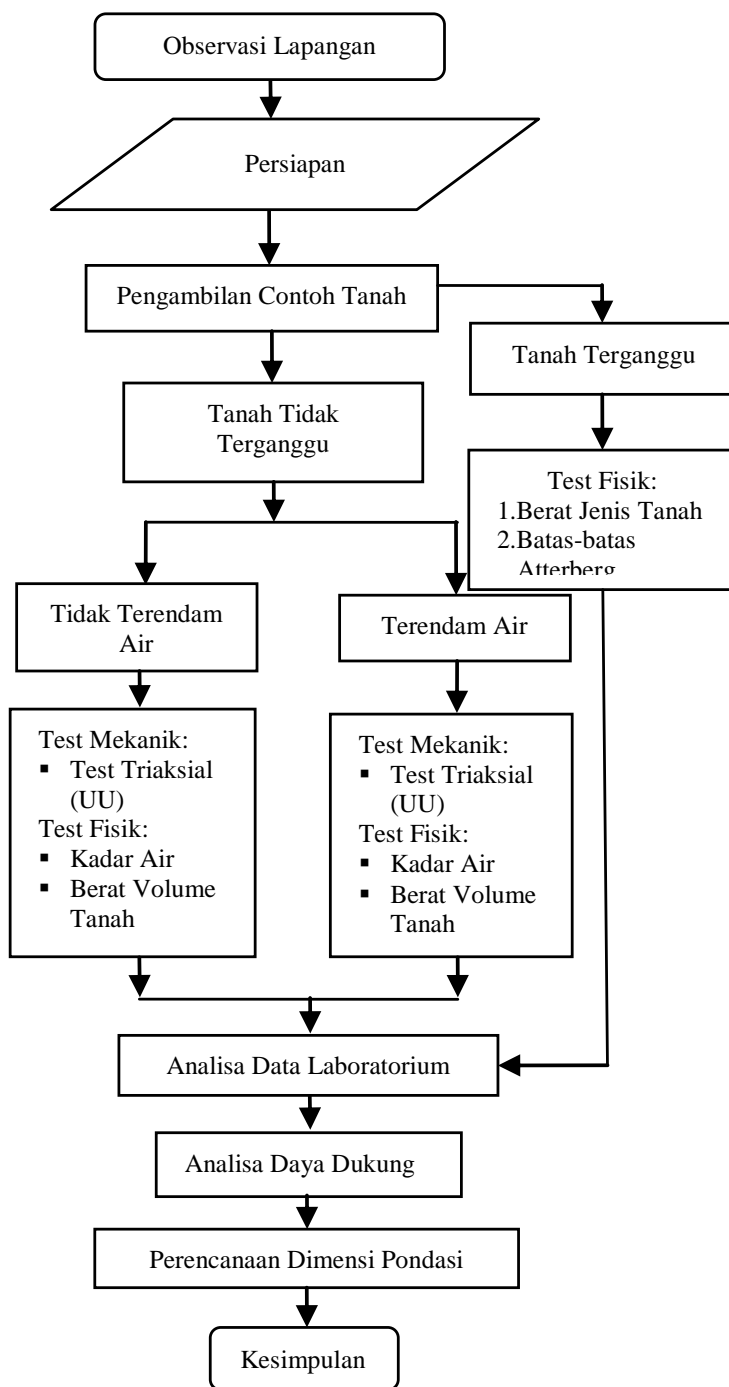
- e. Menghitung tulangan lentur pondasi pelat.

- f. Menghitung balok pondasi.

- g. Menghitung tulangan lentur balok.

- h. Menghitung penulangan geser balok.





**Gambar 2. Diagram alir (flowchart) penelitian**

## 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penyelidikan Kadar Air (*Water Content*)

Penyelidikan kadar air menggunakan contoh tanah tidak terganggu (*undisturb*). Nilai rata-rata hasil penyelidikan kadar air ditampilkan dalam Tabel 3.

### 4.2 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Penyelidikan berat jenis menggunakan contoh tanah terganggu (*disturb*). Nilai rata-rata hasil penyelidikan berat jenis tanah ditampilkan dalam Tabel 4.

### 4.3 Berat Volume Tanah

Pemeriksaan berat volume tanah dilakukan dengan menggunakan contoh tanah tidak terganggu (*undisturb*) dari kedalaman 1 meter, 2 meter dan 4 meter. Hasil pemeriksaan berat volume tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

### 4.4 Batas-Batas Atterberg

Rangkuman hasil penelitian mengenai batas cair dapat dilihat dalam Tabel 6. Rangkuman hasil penelitian mengenai batas cair dapat dilihat dalam Tabel 7. Hasil penelitian batas susut ditampilkan pada Tabel 9.

### 4.5 Tes Triaksial UU (*Undrained Unconsolidated*)

Tes triaksial ini dilakukan terhadap contoh tanah tidak terganggu (*undisturb sampel*). Dari tiap contoh tanah pada tiap lokasi dan kedalaman yang berbeda diambil masing-masing tiga benda uji. Tiap satu benda uji dari kedalaman dan titik yang berbeda tersebut diberikan

tekanan sel ( $\sigma_3$ ) yang berbeda-beda yaitu 0.6 kg/cm<sup>2</sup>, 1.2 kg/cm<sup>2</sup>, 1.8 kg/cm<sup>2</sup>.

### 4.6 Analisis Daya Dukung Ijin Tanah

Daya dukung yang ditinjau adalah kedudukan tanah terhadap muka air tanah dengan kedalaman muka air tanah di lokasi pengambilan sampel ( $z$ ) = 1.5 meter. Perhitungan daya dukung pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah untuk tanah yang terletak di atas muka air tanah dan daya dukung tanah pada kedalaman 2 meter dan 4 meter untuk di bawah muka air tanah. Dalam perhitungan daya dukung ini dilakukan dengan rumus Terzaghi.

### 4.7 Perencanaan Pondasi Pelat dengan Balok

Luas pondasi yang direncanakan ( $A$ ) =  $38 \times 24 \text{ m}^2 = 912 \text{ m}^2$ . Besar beban yang bekerja :  $\sum P = 46235,664 \text{ kN}$ ,  $M_x = 0$  dan  $M_y = 0$ .

Untuk mengontrol tegangan tanah yang terjadi, dapat ditinjau lokasi titik yang paling kritis yaitu pada masing-masing sudut pelat. Untuk kedalaman 1 meter titik 1:

$$q_{\max} = \frac{46235,664}{912} + \frac{0 \times 12}{\frac{1}{12} \times 24 \times 38^3} + \frac{0 \times 19}{\frac{1}{12} \times 38 \times 24^3}$$

$$q_{\max} = 50,697 \text{ kN/m}^2 < q_a = 54,09 \text{ kNm (ok)}$$

Untuk hasil perhitungan tegangan tanah diperlihatkan pada Gambar 3.

### 4.8 Hasil perhitungan Penulangan Pelat dan Balok Pondasi

Hasil penulangan pelat pondasi dan balok pondasi ditampilkan dalam Tabel 14-Tabel 21.

**Tabel 3. Rangkuman Hasil Penyelidikan Kadar Air**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Kadar air (%)
1	1	36.50
	2	33.20
	3	31.20
2	1	41.40
	2	41.90
	3	42.14
3	1	50.23
	2	50.61
	3	49.50

**Tabel 4. Rangkuman Hasil Penyelidikan Berat Jenis**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1	2.66
	2	2.45
	3	2.55
2	1	2.52
	2	2.50
	3	2.54
3	1	2.52
	2	2.42
	3	2.64

**Tabel 5. Rangkuman Hasil Penyelidikan Berat Voume Tanah**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1	1.51
	2	1.48
	3	1.51
2	1	1.56
	2	1.61
	3	1.61
3	1	1.48
	2	1.48
	3	1.53

**Tabel 6. Rangkuman Hasil Penyelidikan Batas Cair Tanah**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Batas Cair (%)
1	1	56.45
	2	56.11
	3	57.28
2	1	54.66
	2	54.70
	3	52.64
3	1	52.88
	2	53.75
	3	53.57

**Tabel 7. Rangkuman Hasil Penyelidikan Batas Plastis Tanah**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Batas Plastis (%)
1	1	26.79
	2	24.50
	3	21.36
2	1	27.29
	2	27.33
	3	27.72
3	1	33.50
	2	33.91
	3	32.84

**Tabel 8. Rangkuman Nilai Indeks Plastisitas Tanah**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Indeks Plastisitas (IP)
1	1	29.66
	2	31.61
	3	35.92
2	1	27.67
	2	27.37
	3	27.37
3	1	19.38
	2	19.84
	3	20.72

**Tabel 9. Rangkuman Hasil Penyelidikan Batas Susut Tanah**

Kedalaman (m)	Lokasi pengambilan contoh tanah	Batas Susut (%)
1	1	22.80
	2	22.58
	3	21.25
2	1	24.60
	2	26.62
	3	25.65
3	1	27.78
	2	25.81
	3	24.12

**Tabel 10. Rangkuman Hasil Tes Triaksial UU untuk Kedalaman 1 Meter**

Lokasi	$\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_b$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
I	0.6	1.018	1.37	3	0.164
	1.2	1.619			
	1.8	2.219			
II	0.6	1.059	1.41	5	0.169
	1.2	1.657			
	1.8	2.258			
III	0.6	0.976	1.45	4	0.161
	1.2	1.577			
	1.8	2.179			

**Tabel 11. Rangkuman Hasil Tes Triaksial UU untuk Kedalaman 2 Meter**

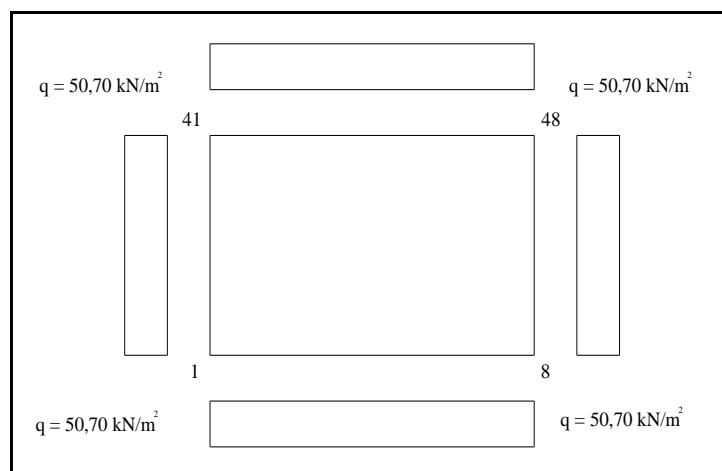
Lokasi	$\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_b$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
I	0.6	0.992	1.47	6	0.159
	1.2	1.592			
	1.8	2.193			
II	0.6	0.988	1.38	5	0.162
	1.2	1.588			
	1.8	2.189			
III	0.6	1.023	1.49	3	0.161
	1.2	1.622			
	1.8	2.222			

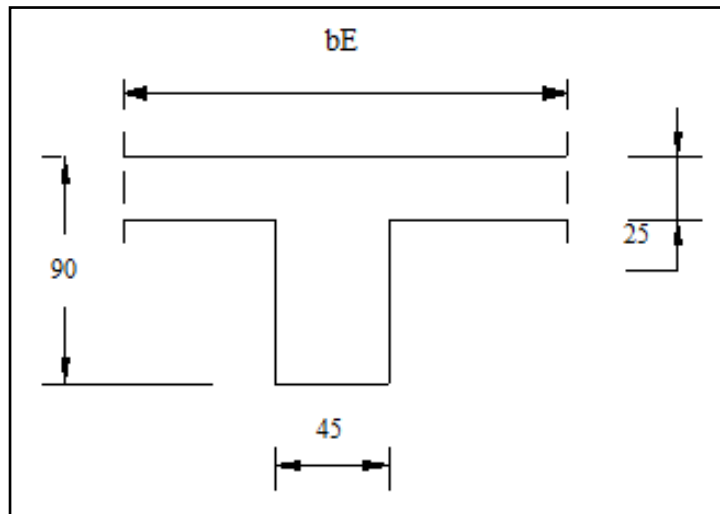
**Tabel 12. Rangkuman Hasil Tes Triaksial UU untuk Kedalaman 4 Meter**

Lokasi	$\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_b$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
I	0.6	0.968	1.48	5	0.156
	1.2	1.568			
	1.8	2.168			
II	0.6	0.996	1.36	6	0.150
	1.2	1.596			
	1.8	2.196			
III	0.6	0.935	1.48	4	0.158
	1.2	1.553			
	1.8	2.152			

**Tabel 13. Rangkuman Nilai Daya Dukung Ijin Tanah Untuk Tiap Kedalaman**

Kedalaman (meter)	Titik (Lokasi)	Nilai daya dukung ijin (qa) (kN/m <sup>2</sup> )	Nilai daya dukung ijin rata-rata (qa)(kN/m <sup>2</sup> )
1	1	54.09	57.54
	2	61.92	
	3	56.62	
2	1	67.54	63.14
	2	64.52	
	3	57.37	
4	1	69.63	69.18
	2	71.40	
	3	66.51	

**Gambar 3. Diagram Tegangan Ijin Tanah**



**Gambar 4. Penampang Balok Pondasi yang Direncanakan**

**Tabel 14. Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Pondasi Arah X**

Tipe	Ukuran Pelat (cm)	Jenis Momen	Mu (kN/m)	Mn (kN/m)	Tulangan (mm)
A	60 × 70	Lapangan	59,319	74,149	Ø16-165
		Tumpuan	111,337	139,172	Ø16-85
B	60 × 60	Lapangan	45,630	57,038	Ø16-200
		Tumpuan	93,085	116,357	Ø16-100
C	30 × 70	Lapangan	110,729	138,411	Ø16-85
		Tumpuan	150,883	188,604	Ø16-60
D	30 × 60	Lapangan	105,862	132,327	Ø16-90
		Tumpuan	149,666	187,083	Ø16-60
E	30 × 30	Lapangan	45,630	57,038	Ø16-200
		Tumpuan	93,085	116,357	Ø16-100

**Tabel 15. Hasil Perhitungan Penulangan Pelat Pondasi Arah Y**

Tipe	Ukuran Pelat (cm)	Jenis Momen	Mu (kN/m)	Mn (kN/m)	Tulangan (mm)
A	60 × 70	Lapangan	41,067	51,334	Ø16-200
		Tumpuan	97,648	122,060	Ø16-85
B	60 × 60	Lapangan	45,630	57,038	Ø16-200
		Tumpuan	93,085	116,357	Ø16-90
C	30 × 70	Lapangan	24,336	30,420	Ø16-350
		Tumpuan	90,652	113,315	Ø16-90
D	30 × 60	Lapangan	27,378	34,223	Ø16-350
		Tumpuan	96,736	120,920	Ø16-85
E	30 × 30	Lapangan	45,630	57,038	Ø16-200
		Tumpuan	93,085	116,357	Ø16-90

**Tabel 16. Hasil Perhitungan Penulangan Lentur Arah Y untuk Balok I - IV**

Balok	Bentang (kNm)	Jenis Momen	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Tulangan	
I	1-9	Tumpuan	207,86	259,82	4 022	
		Lapangan	13,24	16,55	4 022	
	9-17	Tumpuan	297,75	372,18	4 022	
		Lapangan	172,25	215,31	4 022	
	17-25	Tumpuan	297,75	372,18	4 022	
		Lapangan	127,30	159,12	4 022	
	25-33	Tumpuan	297,75	372,18	4 022	
		Lapangan	172,25	215,31	4 022	
	33-41	Tumpuan	207,86	259,82	4 022	
		Lapangan	13,24	16,55	4 022	
	II	2-10	Tumpuan	449,69	562,11	5 022
			Lapangan	39,57	49,46	4 022
10-18		Tumpuan	656,69	820,86	8 022	
		Lapangan	382,16	477,70	5 022	
18-26		Tumpuan	656,59	820,73	8 022	
		Lapangan	278,66	348,32	4 022	
26-34		Tumpuan	656,69	820,86	8 022	
		Lapangan	382,16	477,70	5 022	
34-42		Tumpuan	449,69	562,11	5 022	
		Lapangan	39,57	49,46	4 022	
III		3-11	Tumpuan	606,17	757,71	7 022
			Lapangan	79,59	99,487	4 022
	11-19	Tumpuan	869,03	1086,28	10 022	
		Lapangan	523,58	654,47	6 022	
	19-27	Tumpuan	869,03	1086,28	10 022	
		Lapangan	378,52	473,15	5 022	
	27-35	Tumpuan	869,03	1086,28	10 022	
		Lapangan	523,58	654,47	6 022	
	35-43	Tumpuan	606,17	757,71	7 022	
		Lapangan	79,59	99,49	4 022	
	IV	4-12	Tumpuan	520,87	651,08	6 022
			Lapangan	67,25	84,06	4 022
12-20		Tumpuan	769,69	962,11	9 022	
		Lapangan	449,54	561,93	5 022	
20-28		Tumpuan	769,69	962,11	9 022	
		Lapangan	325,13	406,41	4 022	
28-36		Tumpuan	769,69	962,11	9 022	
		Lapangan	449,54	561,93	5 022	
36-44		Tumpuan	520,87	651,09	6 022	
		Lapangan	67,25	84,06	4 022	



**Tabel 17. Hasil Perhitungan Penulangan Lentur Arah Y untuk Balok V- VIII**

Balok	Bentang	Jenis Momen	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Tulangan	
VIII	8-16	Tumpuan	207,86	259,83	4 022	
		Lapangan	13,24	16,55	4 022	
	16-24	Tumpuan	297,75	372,19	4 022	
		Lapangan	172,25	215,31	4 022	
	24-32	Tumpuan	297,75	372,19	4 022	
		Lapangan	127,30	159,13	4 022	
	32-40	Tumpuan	297,75	372,19	4 022	
		Lapangan	172,25	215,31	4 022	
	40-48	Tumpuan	207,86	259,83	4 022	
		Lapangan	13,24	16,55	4 022	
	VII	7-15	Tumpuan	449,69	562,11	5 022
			Lapangan	39,57	49,46	4 022
		15-23	Tumpuan	656,69	820,86	8 022
			Lapangan	382,16	477,70	5 022
23-31		Tumpuan	656,59	820,74	8 022	
		Lapangan	278,66	348,33	4 022	
31-39		Tumpuan	656,69	820,86	8 022	
		Lapangan	382,16	477,70	5 022	
39-47		Tumpuan	449,69	562,11	5 022	
		Lapangan	39,57	49,46	4 022	
VI		6-14	Tumpuan	606,17	757,71	7 022
			Lapangan	79,59	99,49	4 022
	14-22	Tumpuan	869,03	1086,29	10 022	
		Lapangan	523,58	654,48	6 022	
	22-30	Tumpuan	869,03	1086,29	10 022	
		Lapangan	378,52	473,15	5 022	
	30-38	Tumpuan	869,03	1086,29	10 022	
		Lapangan	523,58	654,48	6 022	
	38-46	Tumpuan	606,17	757,71	7 022	
		Lapangan	79,59	99,49	4 022	
	V	5-13	Tumpuan	520,87	651,09	6 022
			Lapangan	67,25	84,06	4 022
13-21		Tumpuan	769,69	962,11	9 022	
		Lapangan	449,54	561,93	5 022	
21-29		Tumpuan	769,69	962,11	9 022	
		Lapangan	325,13	406,41	4 022	
29-37		Tumpuan	769,69	962,11	9 022	
		Lapangan	449,54	561,93	5 022	
37-45		Tumpuan	520,87	651,09	6 022	
		Lapangan	67,25	84,06	4 022	

**Tabel 18. Hasil Perhitungan Penulangan Lentur Arah X untuk Balok A – C**

Balok	Bentang	Jenis Momen	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Tulangan	
A	1-2	Tumpuan	307,65	384,563	4 022	
		Lapangan	43,40	54,250	4 022	
	2-3	Tumpuan	367,99	459,988	4 022	
		Lapangan	252,23	315,288	4 022	
	3-4	Tumpuan	367,99	459,988	4 022	
		Lapangan	107,43	134,288	4 022	
	4-5	Tumpuan	267,25	334,063	4 022	
		Lapangan	157,80	197,250	4 022	
	5-6	Tumpuan	267,25	334,063	4 022	
		Lapangan	157,80	197,250	4 022	
	6-7	Tumpuan	367,99	459,988	4 022	
		Lapangan	107,43	134,288	4 022	
	7-8	Tumpuan	307,65	384,563	4 022	
		Lapangan	43,40	54,250	4 022	
	B	9-10	Tumpuan	696,41	870,513	8 022
			Lapangan	135,52	169,400	4 022
10-11		Tumpuan	830,22	1037,775	10 022	
		Lapangan	581,56	726,950	7 022	
11-12		Tumpuan	830,22	1037,775	10 022	
		Lapangan	228,14	285,175	4 022	
12-13		Tumpuan	584,21	730,263	7 022	
		Lapangan	351,15	438,938	4 022	
13-14		Tumpuan	830,22	1037,775	10 022	
		Lapangan	228,14	285,175	4 022	
14-15		Tumpuan	830,22	1037,775	10 022	
		Lapangan	581,56	726,950	7 022	
15-16		Tumpuan	696,41	870,513	8 022	
		Lapangan	135,52	169,400	4 022	
C		17-18	Tumpuan	867,4	1084,35	10 022
			Lapangan	202,0	252,5625	4 022
	18-19	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022	
		Lapangan	734,12	917,65	9 022	
	19-20	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022	
		Lapangan	250,03	312,5375	4 022	
	20-21	Tumpuan	675,93	844,9125	8 022	
		Lapangan	418,89	523,6125	5 022	
	21-22	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022	
		Lapangan	250,03	312,5375	4 022	
	22-23	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022	
		Lapangan	734,12	917,65	9 022	
	23-24	Tumpuan	867,48	1084,35	10 022	
		Lapangan	202,05	252,5625	4 022	

**Tabel 19. Hasil Perhitungan Penulangan Lentur Arah X untuk Balok D - F**

Balok	Bentang	Jenis Momen	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Tulangan
F	47-48	Tumpuan	307,650	384,563	4 022
		Lapangan	43,400	54,250	4 022
	46-47	Tumpuan	367,990	459,988	4 022
		Lapangan	252,230	315,288	4 022
	45-46	Tumpuan	367,990	459,988	4 022
		Lapangan	107,430	134,288	4 022
	44-45	Tumpuan	267,250	334,063	4 022
		Lapangan	157,800	197,250	4 022
	43-44	Tumpuan	267,250	334,063	4 022
		Lapangan	157,800	197,250	4 022
	42-43	Tumpuan	367,990	459,988	4 022
		Lapangan	107,430	134,288	4 022
	41-42	Tumpuan	307,650	384,563	4 022
		Lapangan	43,400	54,250	4 022
E	39-40	Tumpuan	696,410	870,513	8 022
		Lapangan	135,520	169,400	4 022
	38-39	Tumpuan	830,220	1037,775	10 022
		Lapangan	581,560	726,950	7 022
	37-38	Tumpuan	830,220	1037,775	10 022
		Lapangan	228,140	285,175	4 022
	36-37	Tumpuan	584,210	730,263	7 022
		Lapangan	351,150	438,938	4 022
	35-36	Tumpuan	830,220	1037,775	10 022
		Lapangan	228,140	285,175	4 022
	34-35	Tumpuan	830,220	1037,775	10 022
		Lapangan	581,560	726,950	7 022
	33-34	Tumpuan	696,410	870,513	8 022
		Lapangan	135,520	169,400	4 022
D	31-32	Tumpuan	867,48	1084,35	10 022
		Lapangan	202,05	252,5625	4 022
	30-31	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022
		Lapangan	734,12	917,65	9 022
	29-30	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022
		Lapangan	250,03	312,5375	4 022
	28-29	Tumpuan	675,93	844,9125	8 022
		Lapangan	418,89	523,6125	5 022
	27-28	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022
		Lapangan	250,03	312,5375	4 022
	26-27	Tumpuan	1013,11	1266,388	12 022
		Lapangan	734,12	917,65	9 022
	25-26	Tumpuan	867,48	1084,35	10 022
		Lapangan	202,05	252,5625	4 022

**Tabel 20. Hasil Perhitungan Penulangan Geser Arah X Balok A – D**

Balok	Bentang	Vu (kN)	Vn (kN)	Vs (kN)	Tulangan
A	1-2	226,81	378,017	75,392	Ø12-40
	2-3	345,79	576,317	273,692	Ø12-25
	3-4	300,16	500,267	197,642	Ø12-40
	4-5	283,37	472,283	169,658	Ø12-40
	5-6	300,16	500,267	197,642	Ø12-40
	6-7	345,79	576,317	273,692	Ø12-25
	7-8	226,81	378,017	75,392	Ø12-40
B	9-10	472,15	786,917	484,292	Ø12-15
	10-11	787,62	1312,700	1010,075	Ø12-5
	11-12	664,57	1107,617	804,992	Ø12-10
	12-13	623,57	1039,283	736,658	Ø12-10
	13-14	664,57	1107,617	804,992	Ø12-10
	14-15	787,62	1312,700	1010,075	Ø12-5
	15-16	472,15	786,9167	484,292	Ø12-15
C	17-18	551,35	918,9167	616,292	Ø12-10
	18-19	977,61	1629,35	1326,725	Ø12-5
	19-20	786,08	1310,133	1007,508	Ø12-5
	20-21	729,88	1216,467	913,842	Ø12-5
	21-22	786,08	1310,133	1007,508	Ø12-5
	22-23	977,61	1629,35	1326,725	Ø12-5
	23-24	551,35	918,917	616,292	Ø12-10
F	47-48	226,81	378,017	75,392	Ø12-40
	46-47	345,79	576,317	273,692	Ø12-25
	45-46	300,16	500,267	197,642	Ø12-40
	44-45	283,37	472,283	169,658	Ø12-40
	43-44	300,16	500,267	197,642	Ø12-35
	42-43	345,79	576,317	273,692	Ø12-25
	41-42	226,81	378,017	75,392	Ø12-40
E	39-40	472,15	786,917	484,292	Ø12-15
	38-39	787,62	1312,700	1010,075	Ø12-5
	37-38	664,57	1107,617	804,992	Ø12-10
	36-37	623,57	1039,283	736,658	Ø12-10
	35-36	664,57	1107,617	804,992	Ø12-10
	34-35	787,62	1312,700	1010,075	Ø12-5
	33-34	472,15	786,917	484,292	Ø12-15
D	31-32	551,35	918,917	616,292	Ø12-10
	30-31	977,61	1629,35	1326,725	Ø12-5
	29-30	786,08	1310,133	1007,508	Ø12-5
	28-29	729,88	1216,467	913,842	Ø12-5
	27-28	786,08	1310,133	1007,508	Ø12-5
	26-27	977,61	1629,35	1326,725	Ø12-5
	25-26	551,35	918,917	616,292	Ø12-10

**Tabel 21. Hasil Perhitungan Penulangan Geser Arah Y untuk Balok I – V**

Balok	Bentang	Vu (kN)	Vn (kN)	Vs (kN)	Tulangan
I	1-9	180,61	301,017	Tidak perlu tulangan geser	Ø12-40
	9-17	298,35	497,250	194,625	Ø12-35
	17-25	283,37	472,283	169,658	Ø12-40
	25-33	298,35	497,250	194,625	Ø12-35
	33-41	180,61	301,017	Tidak perlu tulangan geser	Ø12-40
II	2-10	357,93	596,550	293,925	Ø12-20
	10-18	658,07	1096,783	794,158	Ø12-5
	18-26	623,57	1039,283	736,658	Ø12-5
	26-34	658,07	1096,783	794,158	Ø12-5
	34-42	357,93	596,550	293,925	Ø12-20
III	3-11	453,43	755,717	453,092	Ø12-15
	11-19	893,23	1488,717	1186,092	Ø12-5
	19-27	849,88	1416,467	1113,842	Ø12-5
	27-35	893,23	1488,717	1186,092	Ø12-5
	35-43	453,43	755,717	453,092	Ø12-15
IV	4-12	390,88	651,467	348,842	Ø12-20
	12-20	771,35	1285,583	982,958	Ø12-5
	20-28	729,88	1216,467	913,842	Ø12-5
	28-36	771,35	1285,583	982,958	Ø12-5
	36-44	390,88	651,467	348,842	Ø12-20
VIII	8-16	180,61	301,017	Tidak perlu tulangan geser	Ø12-40
	16-24	298,35	497,250	194,625	Ø12-35
	24-32	283,37	472,283	169,658	Ø12-40
	32-40	298,35	497,250	194,625	Ø12-35
	40-48	180,61	301,017	Tidak perlu tulangan geser	Ø12-40
VII	7-15	357,93	596,550	293,925	Ø12-20
	15-23	658,07	1096,783	794,158	Ø12-5
	23-31	623,57	1039,283	736,658	Ø12-5
	31-39	658,07	1096,783	794,158	Ø12-5
	39-47	357,93	596,550	293,925	Ø12-20
VI	6-14	453,43	755,717	453,092	Ø12-15
	14-22	893,23	1488,717	1186,092	Ø12-5
	22-30	849,88	1416,467	1113,842	Ø12-5
	30-38	893,23	1488,717	1186,092	Ø12-5
	38-46	453,43	755,717	453,092	Ø12-15
V	5-13	390,88	651,467	348,842	Ø12-20
	13-21	771,35	1285,583	982,958	Ø12-5
	21-29	729,88	1216,467	913,842	Ø12-5
	29-37	771,35	1285,583	982,958	Ø12-5
	37-45	390,88	651,467	348,842	Ø12-20

## 5 SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan studi yang dilakukan mulai dari pengambilan sampel, pengumpulan data di laboratorium, sampai dengan analisa data-data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan test triaksial UU (*unconsolidated undrained*) untuk tanah lempung di daerah Suwung Kauh diperoleh nilai daya dukung ijin terendah, pada kedalaman 1 meter ( $q_a$ ) = 54,09 kN/m<sup>2</sup> yaitu pada titik 1, pada kedalaman 2 meter ( $q_a$ ) = 57,37 kN/m<sup>2</sup> yaitu pada titik 3 dan pada kedalaman 4 meter ( $q_a$ ) = 66,51 kN/m<sup>2</sup> yaitu pada titik 3.
2. Perencanaan pondasi telapak dengan daya dukung ijin ( $q_a$ ) berdasarkan test triaksial UU (*unconsolidated undrained*) pada tanah lempung di daerah Suwung Kauh pada kedalaman 1 meter, 2 meter dan 4 meter tidak memberikan dimensi pondasi telapak yang cukup memadai dengan beban aksial kolom ( $P_u$ ) = 2253,122 kN atau lebih, karena akan memperoleh dimensi pondasi telapak yang sangat besar sehingga akan menutupi seluruh luas bangunan.
3. Perencanaan pondasi pelat pada daerah Suwung Kauh berdasarkan nilai daya dukung ijin tanah dengan test triaksial UU (*Unconsolidated Undrained*) untuk beban total bangunan  $P = 46235,664$  kN dan luas pondasi yang sama yaitu sebesar 912 m<sup>2</sup>

pada kedalaman 1 meter, 2 meter dan 4 meter, memberikan nilai tegangan tanah maksimum yang lebih rendah dari daya dukung ijin. Yaitu ( $q$ ) = 50,7 kN/m<sup>2</sup> < ( $q_a$ ) = 57,34 kN/m<sup>2</sup> pada kedalaman 1 meter, ( $q$ ) = 50,7 kN/m<sup>2</sup> < ( $q_a$ ) = 63,14 kN/m<sup>2</sup> pada kedalaman 2 meter dan ( $q$ ) = 50,7 kN/m<sup>2</sup> < ( $q_a$ ) = 69,18 kN/m<sup>2</sup> pada kedalaman 4 meter. Sehingga perencanaan pondasi sudah cukup dilakukan pada kedalaman 1 meter karena daya dukung tanahnya telah memenuhi syarat.

### 5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat disarankan sebagai berikut:

1. Perlu diadakan penelitian nilai daya dukung tanah di daerah Suwung Kauh dengan jenis test mekanik lainnya.
2. Dalam merencanakan pondasi dangkal di daerah Suwung Kauh untuk beban yang sangat besar misalnya dengan beban aksial kolom ( $P_u$ ) = 2253,122 kN atau lebih sebaiknya digunakan pondasi pelat atau dengan memakai jenis pondasi yang lain misalnya pondasi tiang pancang.

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E, 1983, *Analisa dan Disain Pondasi. Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Craig, R. F. dan Budi Susilo S. (Penterjemah), 1989, *Mekanika Tanah*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Das, Braja M, 1993, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, 1991, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03)*, Cetakan Pertama, Yayasan LPMB, Bandung.

Redana, I W., 2010, *Teknik Pondasi*, Udayana University Press, Denpasar.