

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis rekayasa nilai (*value engineering*) yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, diterapkan pada kasus desain pondasi proyek pembangunan gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia. Analisis yang dipakai pada penelitian ini dilakukan dengan lima tahapan rencana kerja. Lima tahapan rencana kerja tersebut merupakan tahapan yang umum dilakukan pada setiap implementasi rekayasa nilai.

5.1 Tahap Informasi

Pada tahap ini dilakukan penggalian data informasi sebanyak mungkin mengenai desain perencanaan proyek.

5.1.1 Data proyek

Data proyek dilakukan untuk mendapatkan informasi dasar mengenai desain perencanaan yang digunakan dalam penelitian. Adapun data-data umum proyek tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Data Umum Proyek

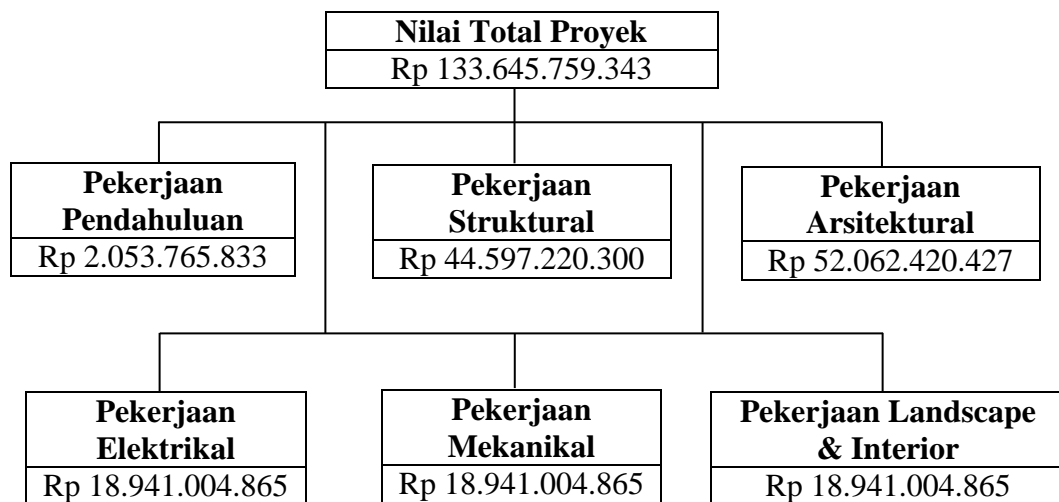
| | |
|-------------------|--|
| Nama proyek | : Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII |
| Pemilik proyek | : Yayasan Badan Wakaf UII |
| Lokasi proyek | : Jalan Kaliurang KM 14,4, Umbulmartani, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta |
| Perencana proyek | : Swakelola UII |
| Pelaksana proyek | : Swakelola UII |
| Waktu pelaksanaan | : 18 bulan |
| Nilai proyek | : Rp 133.645.759.343 |
| Konstruksi: | |
| - Struktur atas | : beton bertulang |
| - Struktur bawah | : pondasi <i>footplate</i> |
| Status proyek | : dalam masa pembangunan |

Data tertulis (dokumen) yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Catatan Dokumen

| Referensi | Data yang Diperlukan |
|--|---|
| Gambar kerja pondasi Gedung Kampus FH UII (Tim Perencana UII, tanggal 1 Agustus 2018, Yogyakarta) | Gambar rencana pondasi (gambar bestek) |
| Perhitungan struktur gedung (Tim Perencana UII, tanggal 1 Agustus 2018, Yogyakarta) | Data perencanaan untuk perhitungan struktur |
| Rencana Kerja dan Syarat (RKS) | Spesifikasi teknis |
| Rencana Anggaran Biaya (RAB) | RAB |
| Daftar harga satuan (Perwal Nomor 21 Tahun 2017 dan Lamp. Permen PUPR Nomor 28 Tahun 2016) | Harga satuan bahan, tenaga kerja, dan alat |

Data-data yang telah diperoleh pada tahap informasi selanjutnya dilakukan investigasi. Pada tahap investigasi biaya kemudian dibuat *cost model* untuk memperoleh kemudahan dalam melihat potensi penghematan dari masing-masing pekerjaan yang dibuat secara grafis. Hasil investigasi *cost model* dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.

**Gambar 5.1 Cost Model Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UII**

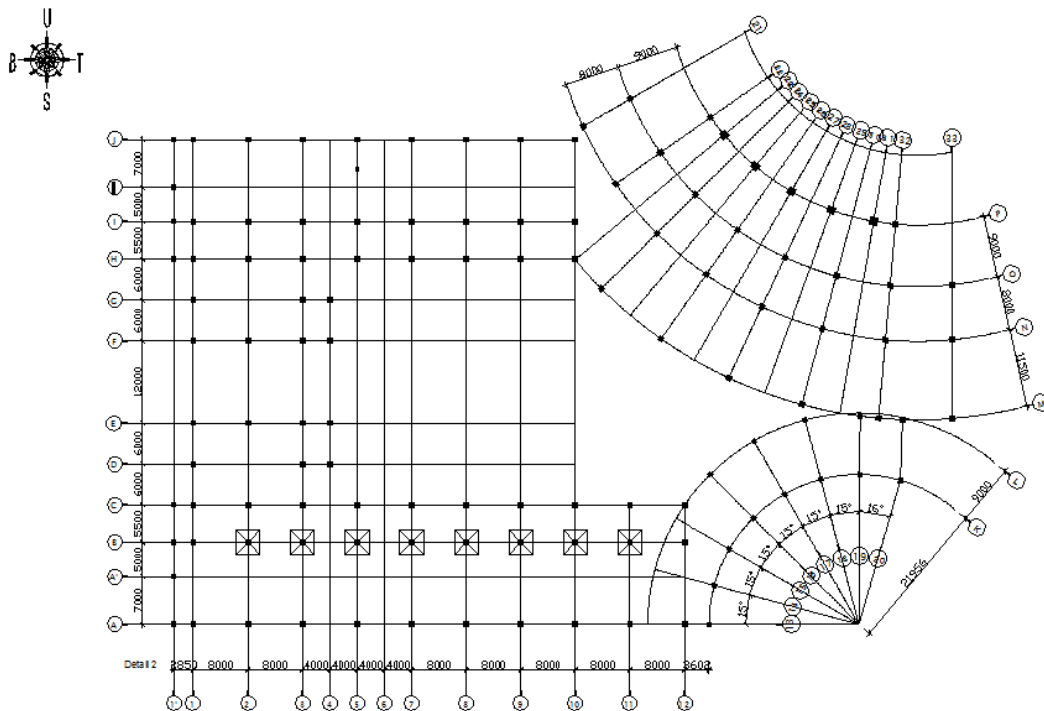
Investigasi dari *cost model* menunjukkan bahwa pekerjaan struktural mempunyai potensi biaya tinggi setelah pekerjaan arsitektural. Pekerjaan struktural juga mempunyai potensi dilakukannya penghematan dengan analisis *value engineering*. Salah satu item pekerjaan struktural yang dapat dilakukan analisis *value engineering* adalah pekerjaan pondasi. Biaya keseluruhan pekerjaan pondasi adalah sebesar Rp 1.415.148.115 dari Rp 44.597.220.300, atau sebesar 1,06 % dari pekerjaan struktur.

Studi analisis *value engineering* sangat potensial diterapkan mulai dari komponen dengan prosentase biaya terbesar sampai komponen dengan prosentase biaya yang semakin kecil. Hal tersebut dianggap bahwa semakin besar prosentase biayanya, semakin besar pula potensi penghematannya.

Pada analisis rekayasa nilai ini dipilih pada struktur pondasi walaupun prosentase biaya bukan yang paling besar, namun pondasi mempunyai keunikan berdasarkan jenis tanah dan mempunyai banyak variasi bentuk dan metode. Selain itu, penekanan studi ini adalah pada pemahaman konsep analisis rekayasa nilai (*value engineering*).

5.1.2 Data teknis

Data teknis pada penelitian ini adalah data yang berhubungan pada item pekerjaan yang dilakukan analisis rekayasa nilai (*value engineering*). Denah pondasi yang akan dilakukan analisis *value engineering* ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Denah Pondasi yang Dianalisis *Value Engineering*

Detail rancangan awal pondasi pada proyek pembangunan gedung FH UII mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

1. Pondasi menopang 2 basement dan 4 lantai di atasnya untuk diteruskan beban ke tanah.
2. Desain pondasi *existing* merupakan pondasi *footplate* dengan ukuran 3,5 x 3,5 meter.

Perhitungan dari teknis pondasi direncanakan dengan angka aman yang sama dari desain awal yaitu dengan nilai $SF = 3$. Beban-beban atau gaya luar yang bekerja dari pondasi yang akan diambil sesuai dengan data perencanaan desain awal dari tim perencana proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII. Data propertis tanah diambil sesuai dari data pada perencanaan awal yaitu hasil uji tanah yang telah dikeluarkan oleh Laboraturium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia.

1. Data bahan material yang digunakan yaitu sebagai berikut.
 - a. Mutu Beton ($f'c$) : 30 Mpa
 - b. Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa

2. Data teknis direncanakan dengan data sebagai berikut.

- a. Ukuran pondasi : 3,5 x 3,5 m
- b. Kedalaman pondasi : 2,5 m
- c. Muka air tanah : sampai kedalaman 12 m belum ditemukan muka air tanah

5.1.3 Data Penyelidikan Tanah

Berdasarkan hasil pengujian di lapangan pada lokasi rencana Proyek Perencanaan Gedung Fakultas Hukum UII, maka data penyelidikan tanah dirinci sebagai berikut.

1. Jenis tanah didominasi jenis tanah pasir berbutir sedang hingga kasar berkerikil dengan tingkat kepadatan sedang hingga sangat keras.
2. Hingga kedalaman 12,00 m dari muka tanah setempat belum dijumpai muka air tanah.
3. Lapisan tanah keras dengan nilai $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$ dijumpai mulai pada kedalaman 2,00 m kebawah.

Hasil pengujian dengan alat sondir yang telah dilaksanakan terhadap 2 titik (S-1) dan (S-2) diperoleh nilai q_c dan jumlah hambatan lekat seperti pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sondir

| Titik Sondir | Elevasi Titik Pengujian (m) | Kedalaman (m) | Nilai Konus (CR) Kg/cm^2 | Jumlah Hambatan Lekat (TF) Kg/cm |
|--------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------------|---|
| S-1 | -4,20 | 3,00 | 700 | 309,33 |
| S-2 | +0,40 | 10,00 | 700 | 941,33 |

Untuk lebih detail dan jelasnya, data penyelidikan tanah dapat dilihat pada Lampiran 1.

Data penyelidikan tanah yang digunakan dalam penelitian adalah pada titik S-2. Hasil pengujian dengan alat sondir pada titik S-2 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Sondir Titik S-2

| Kedalaman | Cr | Cr + Fs | qc | Kedalaman | Cr | Cr + Fs | qc |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| m | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | m | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² |
| 0,00 | 0 | 0 | 0 | 5,20 | 50 | 57 | 100 |
| 0,20 | 15 | 20 | 30 | 5,40 | 104 | 110 | 208 |
| 0,40 | 12 | 16 | 24 | 5,60 | 70 | 80 | 140 |
| 0,60 | 15 | 20 | 30 | 5,80 | 75 | 82 | 150 |
| 0,80 | 15 | 20 | 30 | 6,00 | 84 | 90 | 168 |
| 1,00 | 13 | 17 | 26 | 6,20 | 85 | 91 | 170 |
| 1,20 | 16 | 21 | 32 | 6,40 | 75 | 80 | 150 |
| 1,40 | 40 | 45 | 80 | 6,60 | 75 | 80 | 150 |
| 1,60 | 40 | 45 | 80 | 6,80 | 80 | 85 | 160 |
| 1,80 | 42 | 47 | 84 | 7,00 | 85 | 90 | 170 |
| 2,00 | 45 | 52 | 90 | 7,20 | 126 | 135 | 252 |
| 2,20 | 100 | 108 | 200 | 7,40 | 175 | 183 | 350 |
| 2,40 | 138 | 145 | 276 | 7,60 | 190 | 200 | 380 |
| 2,60 | 70 | 76 | 140 | 7,80 | 190 | 200 | 380 |
| 2,80 | 65 | 70 | 130 | 8,00 | 195 | 205 | 390 |
| 3,00 | 65 | 70 | 130 | 8,20 | 142 | 150 | 284 |
| 3,20 | 105 | 110 | 210 | 8,40 | 185 | 193 | 370 |
| 3,40 | 100 | 105 | 200 | 8,60 | 125 | 133 | 250 |
| 3,60 | 100 | 105 | 200 | 8,80 | 130 | 140 | 260 |
| 3,80 | 80 | 88 | 160 | 9,00 | 125 | 133 | 250 |
| 4,00 | 60 | 70 | 120 | 9,20 | 140 | 150 | 280 |
| 4,20 | 105 | 110 | 210 | 9,40 | 235 | 245 | 470 |
| 4,40 | 95 | 100 | 190 | 9,60 | 268 | 280 | 536 |
| 4,60 | 45 | 52 | 90 | 9,80 | 325 | 340 | 650 |
| 4,80 | 50 | 57 | 100 | 10,00 | 350 | 360 | 700 |
| 5,00 | 50 | 57 | 100 | | | | |

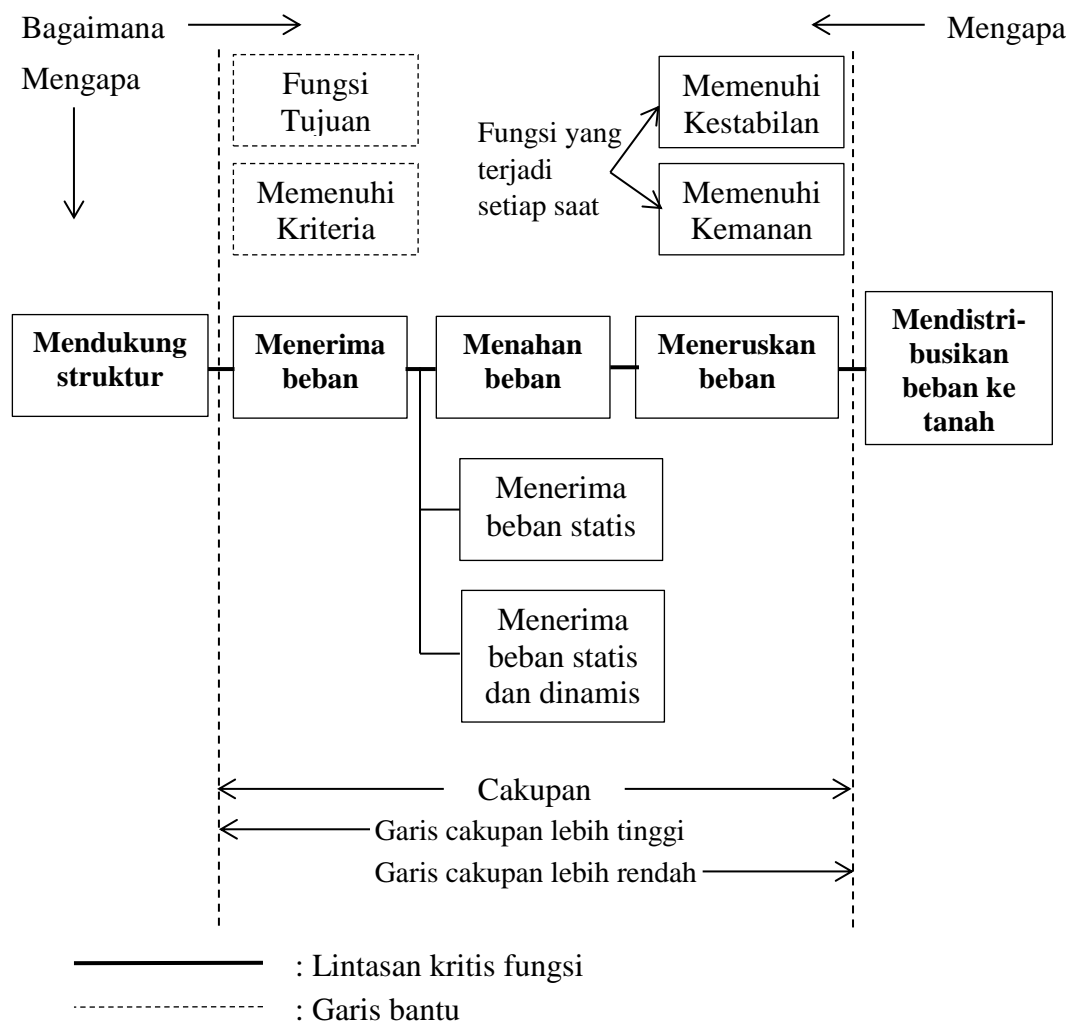
5.1.4 Analisis Fungsi

Untuk menganalisis fungsi dengan cara mudah adalah mengidentifikasi dengan dua kata, yaitu kata kerja dan kata benda. Identifikasi fungsi dari pekerjaan pondasi dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Identifikasi Fungsi Pondasi

| Pekerjaan | Fungsi | | |
|-----------|------------|------------|--------------|
| | Kata Kerja | Kata Benda | Jenis Fungsi |
| Pondasi | Menerima | Beban | Primer |
| | Menahan | Beban | Primer |
| | Meneruskan | Beban | Sekunder |

Selanjutnya diperlukan adanya analisis fungsi untuk menguraikan setiap elemen sesuai dengan fungsinya. Untuk mendapatkan pemahaman dan fungsi primer tentang pekerjaan pondasi digunakan diagram FAST agar didapat penjabaran fungsi secara detail dan terarah. Diagram FAST pondasi ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Diagram FAST untuk Pondasi

5.2 Tahap Kreatif

Tahap kreatif dimaksudkan untuk mengutarakan ide atau alternatif untuk diimplementasikan, yaitu menggunakan teknik memunculkan ide-ide alternatif serta dengan melakukan perhitungan terhadap desain *existing* dan desain alternatif ide, juga dilakukan perhitungan untuk Rencana Anggaran Biaya (RAB).

5.2.1 Ide-ide Kreatif Alternatif Desain Pondasi

Ide-ide kreatif yang dikemukakan merupakan ide-ide kreatif yang sesuai cakupan fungsional yang telah dijabarkan pada tahapan sebelumnya dengan menggunakan metode FAST. Ide-ide kreatif alternatif desain pondasi dikutip dari penelitian oleh Abma (2015) dalam Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Ide-ide Kreatif Alternatif Desain Pondasi

| Jenis Pondasi | Sistem Pondasi | Material |
|---|-----------------|-------------------------|
| Pondasi telapak (<i>footplate</i>) | Pondasi dangkal | Beton bertulang |
| Pondasi telapak gabungan | Pondasi dangkal | Beton bertulang |
| Pondasi telapak menerus (<i>continous footing</i>) | Pondasi dangkal | Beton bertulang |
| Pondasi plat (<i>mat/ raft fondation</i>) | Pondasi dangkal | Beton bertulang |
| Pondasi sumuran | Pondasi dalam | Beton bertulang |
| Pondasi <i>bored pile</i> | Pondasi dalam | Beton bertulang |
| Pondasi tiang pancang | Pondasi dalam | <i>Precast concrete</i> |

Lokasi proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII ini berlokasi di daerah Sleman, yang terkenal dengan memiliki riwayat rawan gempa dan dari hasil pengujian laboratorium UII yang mengeluarkan hasil bahwa tanah padat pada lokasi ini tepat pada kedalaman 0,6 meter.

Berdasarkan hasil yang ada, maka penerapan *value engineering* ini digunakan sistem pondasi dangkal, karena perencana tidak menyarankan menggunakan pondasi dalam. Hal tersebut berkaitan dengan kondisi tanah yang didominasi jenis tanah pasir berbutir sedang hingga kasar berkerikil dengan tingkat kepadatan sedang hingga sangat keras, sehingga akan menyulitkan jika digunakan pondasi dalam.

Dari kondisi tersebut maka alternatif desain pondasi yang akan dianalisis adalah:

1. pondasi *footplate* dengan alternatif dimensi yang berbeda dengan desain *existing*,
2. pondasi telapak menerus (*continous footing*), dan
3. pondasi telapak gabungan.

Pilihan alternatif pondasi pelat (*mat/raft foundation*) tidak dipertimbangkan dengan alasan yaitu pondasi plat (*mat/raft foundation*) digunakan untuk mengatasi tanah dasar yang tidak homogen, misal pada tanah dimana bangunan akan didirikan terdapat tanah lunak (daya dukung tanah tidak begitu besar) agar tidak terjadi penurunan cukup besar (Surendro, 2015). Sedangkan kondisi tanah pada proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII memiliki kondisi daya dukung tanah yang bagus berdasarkan hasil uji lapangan dengan tingkat kepadatan sedang hingga sangat keras.

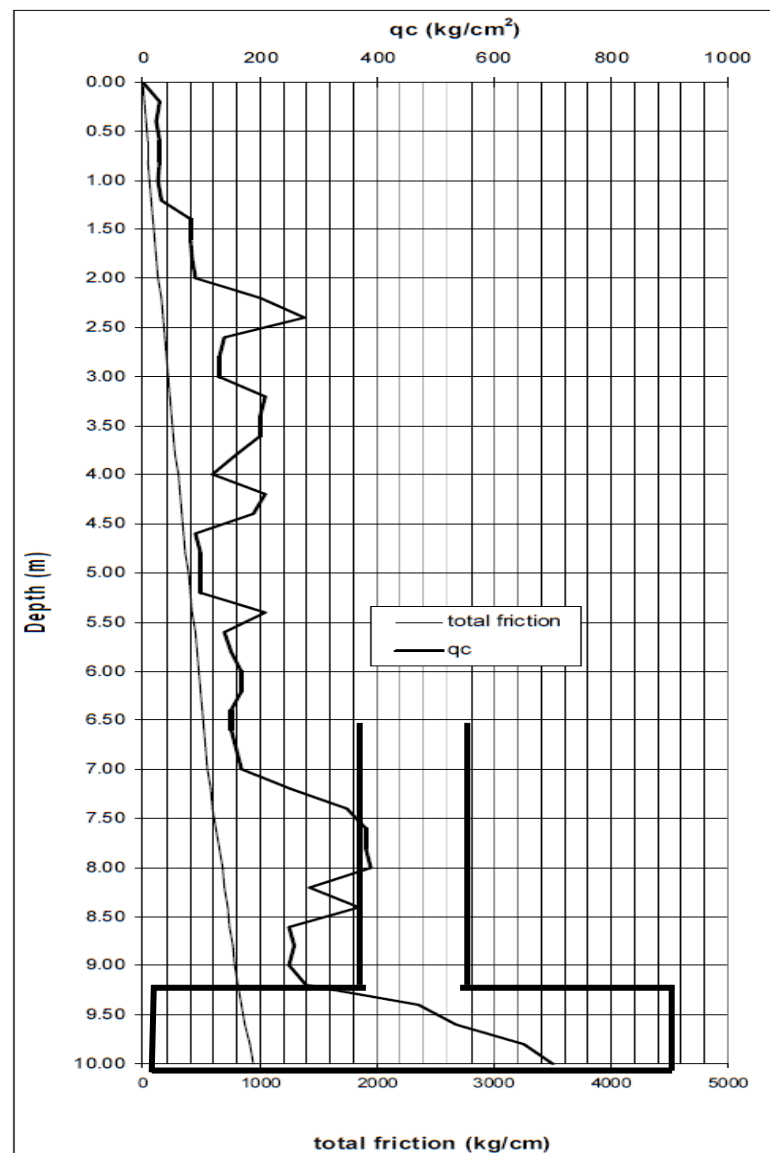
Hal-hal yang dipertimbangkan dalam pemilihan alternatif desain pekerjaan pondasi adalah:

1. biaya, yaitu total biaya pekerjaan masing-masing pondasi kemudian dihitung potensi penghematan atau pemborosan biaya;
2. daya dukung pondasi, yaitu kapastitas dukung yang mampu ditahan oleh pondasi berdasarkan pembebanan struktur dan data tanah;
3. waktu pelaksanaan, yaitu waktu pelaksanaan untuk mengerjakan pekerjaan pondasi;
4. kemungkinan implementasi, yaitu kemungkinan diterapkannya pondasi pada proyek,
5. tingkat kesulitan, yaitu tingkat kesulitan dalam melaksanakan pekerjaan pondasi; dan
6. sarana kerja (peralatan), yaitu ketersediannya dan tingkat kesulitan ditemukannya peralatan untuk mengerjakan pekerjaan pondasi.

5.2.2 Perhitungan Teknis Desain *Existing* dan Desain Alternatif

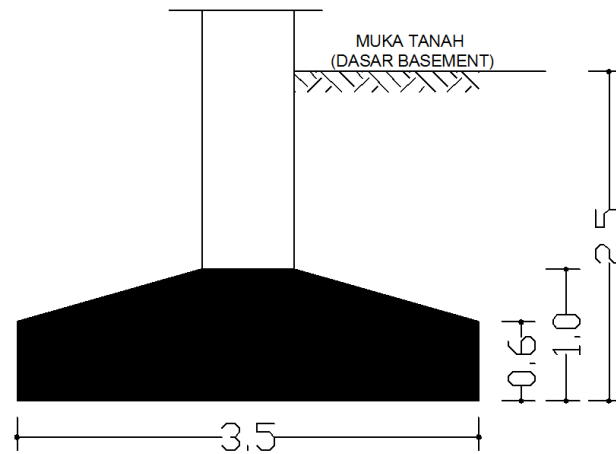
1. Perhitungan Teknis Desain *Existing* (*Footplate* 3,5 x 3,5 m)

Rencana pondasi terhadap data tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Plotting Rencana Pondasi (Footplate 3,5 x 3,5 m)

Desain pondasi *existing* pada as 2-B sampai 11-B menggunakan lebar pondasi 3,5 m dan tebal pondasi 1 m. Pondasi rancangan awal pada proyek pembangunan gedung kampus FH UII pada as 2-B sampai 11-B ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Desain Existing (Footplate 3,5 x 3,5 m)

Detail struktur pada desain pondasi *existing* tersebut adalah seperti pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Detail Struktur Pondasi Existing

| Gambar Detail | Keterangan |
|---------------|--|
| | <p>Kedalaman pondasi = 2,5 m</p> <p>Tebal pelat = 1 m</p> <p>Lebar pondasi (B) = 3,5 m</p> <p>Panjang pondasi (L) = 3,5 m</p> <p>Tulangan lentur x = 16 D – 100</p> <p>Tulangan lentur y = 16 D – 100</p> <p>Tulangan susut = 10 D - 100</p> |

Alternatif desain pondasi yang telah diutarakan pada tahap kreatif kemudian dihitung strukturnya. Perhitungan teknis pondasi direncanakan dengan faktor keamanan (SF) yang sama dengan desain *existing*, yaitu 2,5. Beban-beban

atau gaya luar yang bekerja pada pondasi dihitung berdasarkan data perencanaan desain awal hasil output program perhitungan struktur ETABS v.13. Data propertis tanah diambil sesuai dengan data pada perencanaan awal, yaitu hasil uji tanah yang dikeluarkan oleh Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Indonesia.

Data perencanaan yang digunakan dalam analisis desain pondasi yaitu:

| | |
|------------------------------|--|
| mutu beton (f^c) | = 30 Mpa, |
| mutu baja ulir (f_y) | = 400 Mpa, |
| mutu baja polos (f_{ys}) | = 240 Mpa, |
| lebar kolom (b) | = 700 mm, |
| tinggi kolom (h) | = 700 mm, |
| kedalaman pondasi (z) | = 2,5 m, |
| elevasi dasar pondasi | = -7,95 m, dan |
| tekanan ujung tanah (CR) | = 700 kg/cm ² (hasil uji tanah dapat dilihat pada Lampiran) |

tahanan konus rata-rata dasar pondasi kedalaman awal (permukaan tanah) sampai B dari dasar pondasi

$$= \frac{390 + 284 + 370 + 250 + 260 + 250 + 280 + 470 + 536 + 650 + 700}{11}$$

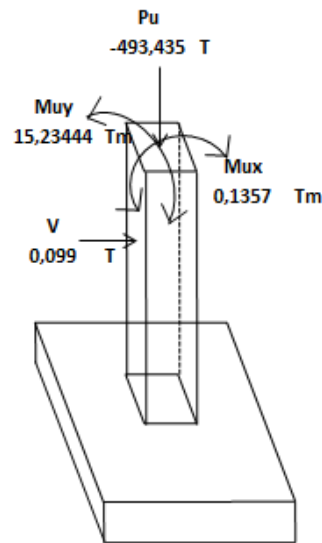
$$= 404 \text{ kg/cm}^2.$$

Berdasarkan hasil pembebanan struktur menggunakan program ETABS v.13, diperoleh gaya-gaya dalam yaitu:

| | |
|------------------|--|
| P_D | = 294,4 T |
| P_L | = 87,577 T |
| P (beban aksial) | = 1,2 P_D + 1,6 P_L = 1,2 x 294,4 + 1,6 x 87,577 = 493,434 T |
| H (gaya geser) | = 0,1357 T, dan |
| M (momen) | = 15,2344 Tm. |

Gaya-gaya maksimum pada kolom dasar yang dipakai sebagai beban rencana pada analisis pondasi dangkal. Untuk lebih jelasnya, hasil-hasil (*output*) dari perhitungan program ETABS v.13 dapat dilihat pada Lampiran 2.

Sketsa gaya-gaya pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Sketsa Gaya-Gaya Pondasi

Dalam melakukan analisis pondasi dangkal digunakan beban aksial, gaya-gaya yang bekerja, dan data propertis tanah. Data tanah pada analisis pondasi menggunakan data lapangan, yaitu data sondir. Kemudian dilakukan perhitungan daya dukung pondasi menggunakan menurut metode *Bowless*, kemudian dihitung penulangannya.

a. Kapasitas dukung pondasi

Kapasitas dukung pondasi pondasi *existing* didapat sebagai berikut.

Menurut *Bowless* (1968), daya dukung ijin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_a = \frac{q_c}{33} \times \left[\frac{B+0,3}{B} \right]^2 \times K_d$$

$$\text{dengan } K_d = 1 + 0,33 \frac{Df}{B}$$

$$= 1 + 0,33 \frac{2,5}{3,5}$$

$$= 1,235.$$

Dan dengan syarat $K_d \leq 1,33$

$K_d = 1,235 < 1,33$, maka syarat terpenuhi.

Maka, kapasitas dukung tanah tersebut adalah

$$\begin{aligned} q_a &= \frac{404}{33} \times \left[\frac{3,5+0,3}{3,5} \right]^2 \times 1,235 \\ &= 17,817 \text{ kg/cm}^2. \\ &= 1781,66 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

Kapasitas dukung pondasi dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q &= A \times \frac{q_a}{SF} \\ &= (3,5 \times 3,5) \times \frac{1781,66}{3} \\ &= 7275,12 \text{ kN} \\ &= 727,512 \text{ Ton}. \end{aligned}$$

b. Kontrol tegangan tanah

Luas dasar *footplate* adalah:

$$\begin{aligned} A &= B_x \times B_y \\ &= 3,5 \times 3,5 \\ &= 12,25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Tahanan momen arah x adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_x &= 1/6 \times B_y \times B_x^2 \\ &= 1/6 \times 3,5 \times 3,5^2 \\ &= 7,1458 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tahanan momen arah y adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_y &= 1/6 \times B_x \times B_y^2 \\ &= 1/6 \times 3,5 \times 3,5^2 \\ &= 7,1458 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tinggi tanah di atas *footplate* adalah:

$$\begin{aligned} z &= D_f - h \\ &= 2,5 - 1 \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan akibat berat *footplate* dan tanah adalah:

$$q = (h \times \gamma_c)$$

$$= 1 \times 24$$

$$= 24 \text{ kN/m}^2$$

Eksentrisitas pada pondasi dihitung sebagai berikut.

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u}$$

$$= \frac{1,357}{4934,34}$$

$$= 0,0003 \text{ m}$$

$$\frac{B_x}{6} = \frac{3,5}{6}$$

$$= 0,583 \text{ m}$$

Disyaratkan $e_x < B_x/6$:

$0,0003 < 0,583$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u}$$

$$= \frac{152,344}{4934,34}$$

$$= 0,0309 \text{ m}$$

Disyaratkan $e_y < B_x/6$:

$0,0309 < 0,583$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q_{\max} = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q$$

$$= \frac{4934,34}{12,25} + \frac{1,357}{7,1458} + \frac{152,344}{7,1458} + 24$$

$$= 448,313 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan bahwa $q_{\max} < q_a$,

$448,313 < 1781,66$, maka aman.

Tegangan minimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q_{\min} = \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q$$

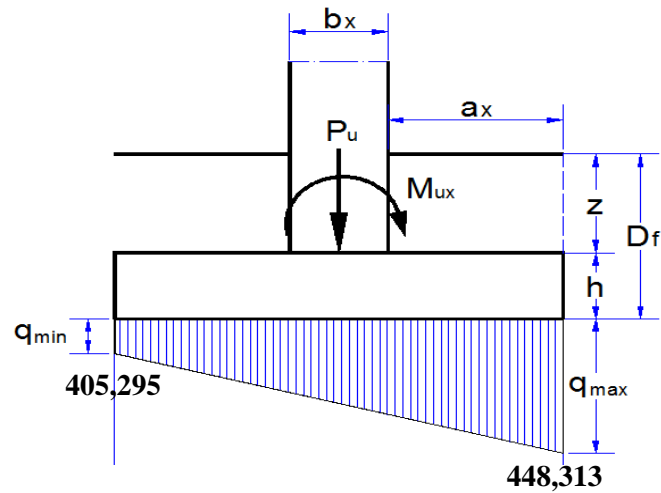
$$= \frac{4934,34}{12,25} - \frac{1,357}{7,1458} - \frac{152,344}{7,1458} + 24$$

$$= 405,295 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan bahwa $q_{\min} > 0$.

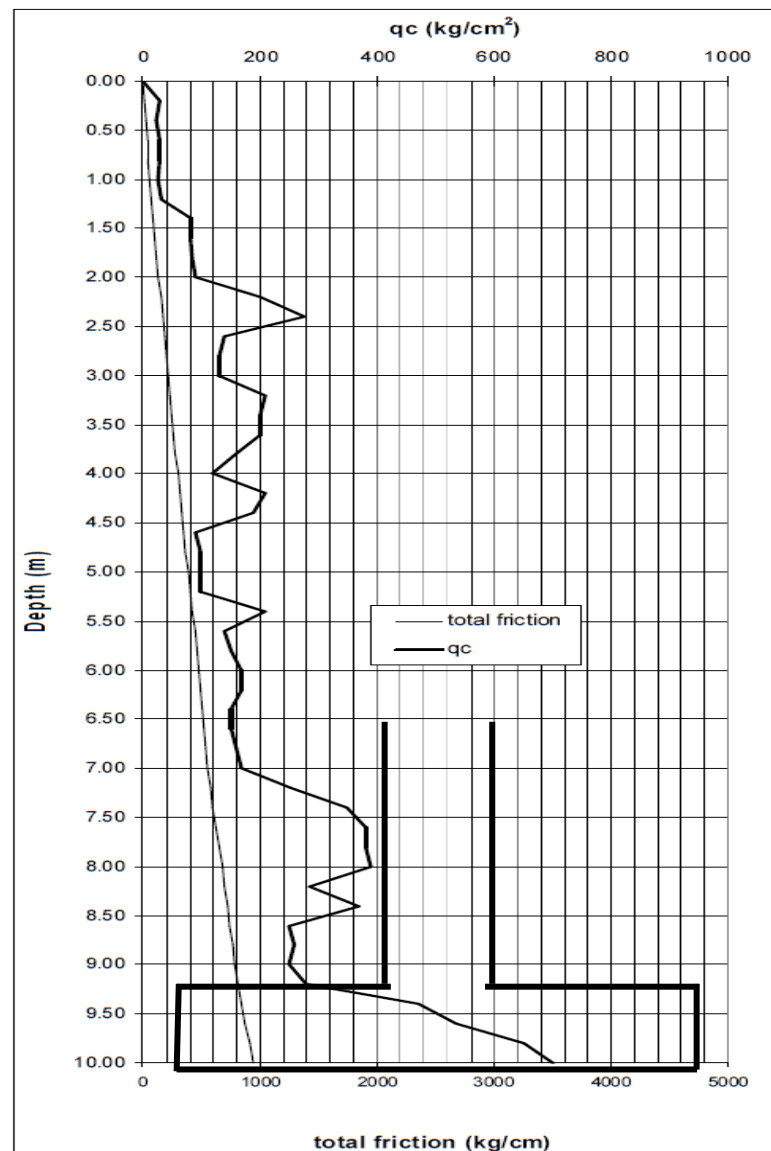
$405,295 > 0$, maka tidak terjadi tegangan tarik (aman).

Skema tegangan tanah ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Skema Tegangan Tanah *Footplate* 3,5 x 3,5

2. Perhitungan Teknis Desain Alternatif Pertama (*Footplate* 3,2 x 3,2 m)
Rencana pondasi terhadap data tanah dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Plotting Rencana Pondasi (Footplate 3,2 x 3,2 m)

Data teknis direncanakan:

Kedalaman pondasi (D_f) = 2,5 m,

Tahanan konus rata-rata dasar pondasi = 404 kg/cm²,

Lebar pondasi arah x = 3,2 m,

Lebar pondasi arah y = 3,2 m,

Tebal pondasi = 0,8 m,

Lebar kolom arah x = 0,7 m,

Lebar kolom arah y = 0,7 m,

Berat beton bertulang γ_c = 24 kN/m³, dan

Posisi kolom α_s = 40.

a. Kapasitas dukung pondasi

Menurut *Bowless* (1968), daya dukung ijin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_a = \frac{q_c}{33} \times \left[\frac{B+0,3}{B} \right]^2 \times K_d$$

$$\text{dengan } K_d = 1 + 0,33 \frac{Df}{B}$$

$$= 1 + 0,33 \frac{2,5}{3,2}$$

$$= 1,257.$$

Dan dengan syarat $K_d \leq 1,33$

$K_d = 1,257 < 1,33$, maka syarat terpenuhi.

Maka, kapasitas dukung tanah tersebut adalah

$$q_a = \frac{404}{33} \times \left[\frac{3,2+0,3}{3,2} \right]^2 \times 1,257$$

$$= 18,405 \text{ kg/cm}^2.$$

$$= 1840,47 \text{ kN/m}^2.$$

Kapasitas dukung pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q = A \times \frac{q_a}{SF}$$

$$= (3,2 \times 3,2) \times \frac{1840,47}{3}$$

$$= 6282,13 \text{ kN}$$

$$= 628,21 \text{ Ton.}$$

b. Kontrol tegangan tanah

Luas dasar *footplate* adalah:

$$A = B_x \times B_y$$

$$= 3,2 \times 3,2$$

$$= 10,24 \text{ m}^2$$

Tahanan momen arah x adalah sebagai berikut.

$$W_x = 1/6 \times B_y \times B_x^2$$

$$= 1/6 \times 3,2 \times 3,2^2$$

$$= 5,461 \text{ m}^3$$

Tahanan momen arah x adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_y &= 1/6 \times B_x \times B_y^2 \\ &= 1/6 \times 3,2 \times 3,2^2 \\ &= 5,461 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tinggi tanah di atas *footplate* adalah:

$$\begin{aligned} z &= D_f - h \\ &= 2,5 - 0,8 \\ &= 1,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan akibat berat *footplate* dan tanah adalah:

$$\begin{aligned} q &= (h \times \gamma_c) \\ &= 0,8 \times 24 \\ &= 19,2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Eksentrisitas pada pondasi dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} e_x &= \frac{M_{ux}}{P_u} \\ &= \frac{1,357}{4934,34} \\ &= 0,0003 \text{ m} \\ \frac{B_x}{6} &= \frac{3,2}{6} \\ &= 0,533 \text{ m} \end{aligned}$$

Disyaratkan $e_x < B_x/6$:

$0,0003 < 0,533$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

$$\begin{aligned} e_y &= \frac{M_{uy}}{P_u} \\ &= \frac{152,344}{4934,34} \\ &= 0,0309 \text{ m} \end{aligned}$$

Disyaratkan $e_y < B_x/6$:

$0,0309 < 0,533$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q_{\max} = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q$$

$$= \frac{4934,34}{10,24} + \frac{1,357}{5,461} + \frac{152,344}{5,461} + 19,2$$

$$= 529,213 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan bahwa $q_{\max} < q_a$,

$529,213 < 1840,47$, maka aman.

Tegangan minimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q_{\min} = \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q$$

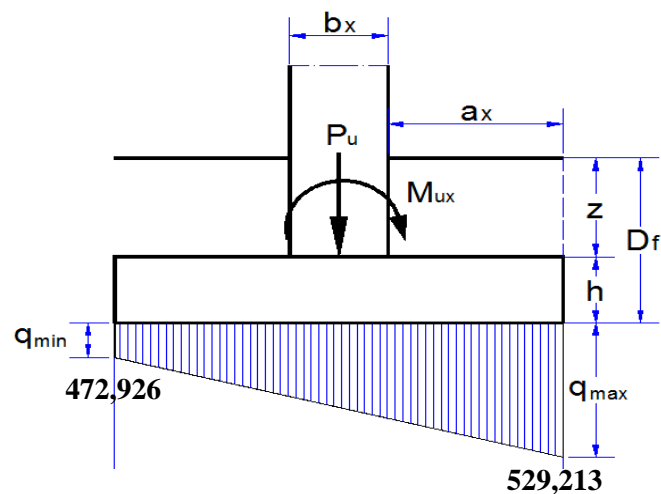
$$= \frac{4934,34}{10,24} - \frac{1,357}{5,461} - \frac{152,344}{5,461} + 19,2$$

$$= 472,926 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan bahwa $q_{\min} > 0$.

$472,926 > 0$, maka tidak terjadi tegangan tarik (aman).

Skema tegangan tanah ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Skema Tegangan Tanah Footplate 3,2 x 3,2

c. Gaya geser pada *footplate*

1) Tinjauan geser arah x

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,075 \text{ m}$$

Tebal efektif *footplate* adalah:

$$d = h - d'$$

$$= 0,8 - 0,075$$

$$= 0,725 \text{ m}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar *footplate* adalah:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{Bx - bx - d}{2} \\ &= \frac{3,2 - 0,7 - 0,725}{2} \\ &= 0,888 \text{ m} \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada bidang kritis geser arah x dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_x &= q_{\min} + \frac{(Bx - ax)}{Bx} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 472,926 + \frac{(3,2 - 0,888)}{3,2} \times (529,213 - 472,926) \\ &= 513,603 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Gaya geser arah x adalah sebesar:

$$\begin{aligned} V_{ux} &= (q_x + \frac{q_{\max} - q_x}{2 - q}) \times a_x \times B_y \\ &= (513,603 + \frac{529,213 - 513,603}{2 - 19,2}) \times 0,888 \times 3,2 \\ &= 1426,271 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x

$$\begin{aligned} b &= B_y \\ &= 3,2 \text{ m} \\ &= 3200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom adalah:

$$\begin{aligned} \beta_c &= \frac{bx}{by} \\ &= \frac{0,7}{0,7} \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kuat geser *footplate* arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{c1} &= (1 + \frac{2}{\beta_c}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \\ &= (1 + \frac{2}{1}) \times \sqrt{30} \times 3200 \times \frac{0,725}{6} \times 10^{-3} \\ &= 6353,582 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= \left(\alpha_s \times \frac{d}{b+2} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \\
 &= \left(40 \times \frac{0,725}{3200+2} \right) \times \sqrt{30} \times 3200 \times \frac{0,725}{12} \times 10^{-3} \\
 &= 11714,416 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 3200 \times 725 \times 10^{-3} \\
 &= 4235,721 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil V_c terkecil, yaitu 4235,721 kN.

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$.

Kuat geser *footplate* = $\phi \times V_c$

$$= 0,75 \times 4235,721$$

$$= 3176,791 \text{ kN}$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu $\phi V_c \geq V_{ux}$.

3176,791 > 1426,271, maka syarat terpenuhi (aman).

2) Tinjauan geser arah y

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,075 \text{ m}$$

Tebal efektif *footplate* adalah:

$$d = h - d'$$

$$= 0,8 - 0,075$$

$$= 0,725 \text{ m}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar *footplate* adalah:

$$\begin{aligned}
 a_y &= \frac{By - by - d}{2} \\
 &= \frac{3,2 - 0,7 - 0,725}{2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,89 \text{ m}$$

Tegangan tanah pada bidang kritis geser arah y dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_y &= q_{\min} + \frac{(By - ay)}{By} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\
 &= 472,926 + \frac{(3,2 - 0,88)}{3,2} \times (529,213 - 472,926)
 \end{aligned}$$

$$= 513,603 \text{ kN/m}^2$$

Gaya geser arah y adalah sebesar:

$$\begin{aligned} V_{uy} &= \left(q_y + \frac{q_{max} - q_y}{2 - q} \right) \times a_y \times B_x \\ &= \left(513,603 + \frac{529,213 - 513,603}{2 - 19,2} \right) \times 0,88 \times 3,2 \\ &= 1434,181 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah y

$$\begin{aligned} b &= B_y \\ &= 3,2 \text{ m} \\ &= 3200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom adalah:

$$\begin{aligned} \beta_c &= \frac{bx}{by} \\ &= \frac{0,7}{0,7} \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kuat geser *footplate* arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{30} \times 3200 \times \frac{0,725}{6} \times 10^{-3} \\ &= 6353,582 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \left(\alpha_s \times \frac{d}{b+2} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \\ &= \left(40 \times \frac{0,725}{3200+2} \right) \times \sqrt{30} \times 3200 \times \frac{0,725}{12} \times 10^{-3} \\ &= 11714,416 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c3} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 3200 \times 715 \times 10^{-3} \\ &= 4177,197 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil V_c terkecil, yaitu 4177,197 kN.

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$.

Kuat geser *footplate* = $\phi \times V_c$

$$= 0,75 \times 4177,197$$

$$= 3132,973 \text{ kN}$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu $\phi V_c \geq V_{uy}$.

$3132,973 > 1434,181$, maka syarat terpenuhi (aman).

3) Tinjauan geser dua arah

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,085 \text{ m}$$

Tebal efektif *footplate* adalah:

$$d = h - d'$$

$$= 0,8 - 0,085$$

$$= 0,715 \text{ m}$$

Lebar bidang geser pondasi arah x

$$c_x = b_x + 2 \times d$$

$$= 0,7 + 2 \times 0,715$$

$$= 1,415 \text{ m}$$

Lebar bidang pondasi arah y

$$c_y = b_y + 2 \times d$$

$$= 0,7 + 2 \times 0,715$$

$$= 1,415 \text{ m}$$

Gaya geser pondasi yang terjadi

$$\begin{aligned} V_{up} &= (B_x \times B_y - c_x \times c_y) \times \frac{q_{\max} - q_{\min}}{2 - q} \\ &= (3,2 \times 3,2 - 1,415 \times 1,415) \times \frac{529,213 - 472,926}{2 - 19,2} \\ &= 3969,536 \text{ kN} \end{aligned}$$

Luas bidang geser pondasi

$$A_p = 2 \times (c_x + c_y) \times d$$

$$= 2 \times (1,415 + 1,415) \times 0,72$$

$$= 4,047 \text{ m}^2$$

Lebar bidang geser pondasi

$$b_p = 2 \times (c_x + c_y)$$

$$= 2 \times (1,415 + 1,415)$$

$$= 5,66 \text{ m}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\begin{aligned}\beta_c &= \frac{bx}{by} \\ &= \frac{0,7}{0,7} \\ &= 1\end{aligned}$$

Tegangan geser pondasi, diambil nilai terkecil dari f_p yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}f_{p1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \\ &= 2,739 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{p2} &= \left(\alpha_s \times \frac{d}{bp} + 2\right) \times \frac{1}{12} \sqrt{f'c} \\ &= \left(40 \times \frac{0,72}{5,66} + 2\right) \times \frac{1}{12} \sqrt{30} \\ &= 3,219 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{p3} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{30} \\ &= 1,826 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Tegangan geser pondasi yang disyaratkan adalah yang mempunyai nilai terkecil, yaitu 1,826 Mpa.

Faktor reduksi kekuatan geser pondasi, $\phi = 0,75$.

Kuat geser pondasi

$$\begin{aligned}\phi \times V_{np} &= \phi \times A_p \times f_p \times 10^3 \\ &= 0,75 \times 4,047 \times 1,826 \times 10^3 \\ &= 5541,45 \text{ kN}\end{aligned}$$

Disyaratkan:

$$\phi V_{np} \geq V_{up}$$

$5541,45 > 3969,536$, maka sesuai persyaratan (aman).

$$\phi V_{np} \geq P_u$$

$5541,45 > 4934,348$, maka sesuai persyaratan (aman).

d. Pembesian *footplate*

1) Tulangan lentur arah x

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar *footplate*

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{Bx - bx}{2} \\ &= \frac{3,2 - 0,7}{2} \\ &= 1,250 \text{ m} \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada tepi kolom dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_x &= q_{\min} + \frac{Bx - ax}{Bx} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 472,926 + \frac{3,2 - 1,250}{3,2} \times (529,213 - 472,926) \\ &= 507,226 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah adalah:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1/2) \times a_x^2 \times [q_x + (2/3) \times (q_{\max} - q_x) - q] \times B_y \\ &= (1/2) \times 1,250^2 \times [507,226 + (2/3) \times (529,213 - 507,226) - \\ &\quad 19,2] \times 3,2 \\ &= 1256,711 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lebar pelat pondasi yang ditinjau adalah:

$$\begin{aligned} b &= B_y \\ &= 3200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tebal pelat pondasi, $h = 800 \text{ mm}$.

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 75 \text{ mm}$.

Tebal efektif pelat adalah:

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 800 - 75 \\ &= 725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$.

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$.

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \end{aligned}$$

$$= 0,0325$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$.

$$\begin{aligned} R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 7,888 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{1256,711}{0,8} \\ &= 1570,889 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{1570,889 \times 10^6}{3200 \times 725^2} \\ &= 0,933 \end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $R_n < R_{\max}$.

$0,961 < 7,88$, maka syarat terpenuhi.

Rasio tulangan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{0,933}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0024 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0025$.

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$.

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 3200 \times 725 \\ &= 5800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 19 \text{ mm}$ (D19).

Jarak tulangan yang diperlukan, yaitu:

$$s = (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s}$$

$$= (\pi/4) \times 19^2 \times \frac{3200}{5800}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

Jarak tulangan yang dipakai adalah 100 mm, maka digunakan tulangan D 19 – 100.

2) Tulangan lentur arah y

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar *footplate*

$$a_y = \frac{B_y - b_y}{2}$$

$$= \frac{3,2 - 0,7}{2}$$

$$= 1,250 \text{ m}$$

Tegangan tanah pada tepi kolom dihitung sebagai berikut.

$$q_y = q_{\min} + \frac{B_y - a_y}{B_y} \times (q_{\max} - q_{\min})$$

$$= 472,926 + \frac{3,2 - 1,250}{3,2} \times (529,213 - 472,926)$$

$$= 507,226 \text{ kN/m}^2$$

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah adalah:

$$M_{uy} = (1/2) \times a_y^2 \times [q_y + (2/3) \times (q_{\max} - q_y) - q] \times B_x$$

$$= (1/2) \times 1,250^2 \times [507,226 + (2/3) \times (529,213 - 507,226) - 19,2] \times 3,2$$

$$= 1256,711 \text{ kNm}$$

Lebar pelat pondasi yang ditinjau adalah:

$$b = B_x$$

$$= 3200 \text{ m}$$

Tebal pelat pondasi, $h = 800 \text{ mm}$.

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 85 \text{ mm}$.

Tebal efektif pelat adalah:

$$d = h - d'$$

$$= 800 - 85$$

$$= 715 \text{ mm}$$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$.

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$.

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600+400} \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$.

$$\begin{aligned}R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 7,888\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{uy}}{\phi} \\ &= \frac{1256,711}{0,8} \\ &= 1570,889 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{1570,889 \times 10^6}{3200 \times 715^2} \\ &= 0,961\end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $R_n < R_{\max}$.

$0,934 < 7,88$, maka syarat terpenuhi.

Rasio tulangan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{0,933}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0024\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0025$.

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$.

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 3200 \times 715 \\ &= 5720 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 19 \text{ mm}$ (D19).

Jarak tulangan yang diperlukan, yaitu:

$$\begin{aligned} s &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= (\pi/4) \times 19^2 \times \frac{3200}{5800} \\ &= 159 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan yang dipakai adalah 100 mm, maka digunakan tulangan D 19 – 100.

3) Tulangan susut

Rasio tulangan minimum, $\rho_{smin} = 0,0014$.

Luas tulangan susut arah x:

$$\begin{aligned} A_{sx} &= \rho_{smin} \times d \times B_x \\ &= 0,0014 \times 725 \times 3200 \\ &= 3248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan susut arah y:

$$\begin{aligned} A_{sy} &= \rho_{smin} \times d \times B_y \\ &= 0,0014 \times 715 \times 3200 \\ &= 3203 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 12 \text{ mm}$ (D12).

Jarak tulangan susut arah x:

$$\begin{aligned} s_x &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_y}{A_{sx}} \\ &= (\pi/4) \times 12^2 \times \frac{3200}{3248} \\ &= 111 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut maksimum arah x, $s_{x \text{ max}} = 200 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah x yang digunakan, $s_x = 100 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah y:

$$\begin{aligned} s_y &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_x}{A_{sy}} \\ &= (\pi/4) \times 12^2 \times \frac{3200}{3203} \\ &= 113 \text{ mm} \end{aligned}$$

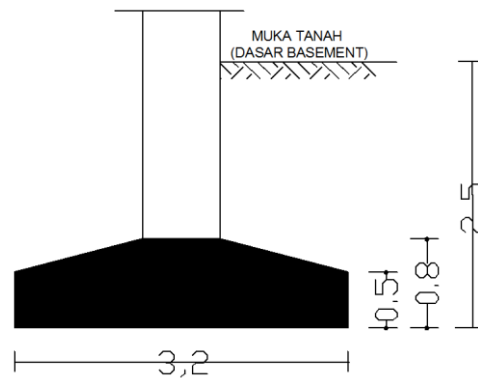
Jarak tulangan susut maksimum arah y, $s_{y \text{ max}} = 200 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah y yang digunakan, $s_y = 100 \text{ mm}$.

Digunakan tulangan susut arah x = D 12 – 100.

Digunakan tulangan susut arah y = D 12 – 100.

Berdasarkan perhitungan di atas, detail pondasi ditunjukkan oleh Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Desain Alternatif (Footplate 3,2 x 3,2 m)

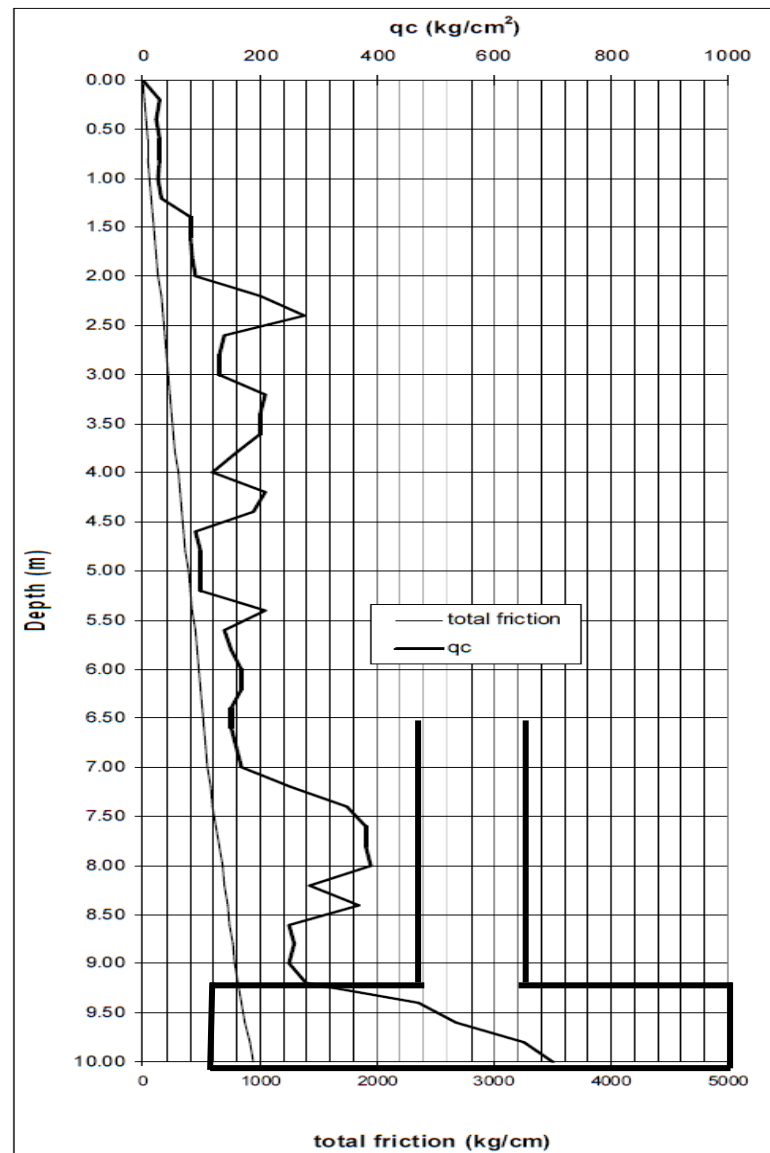
Detail struktur pada desain pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m tersebut adalah seperti pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Detail Struktur Pondasi Footplate 3,2 x 3,2 m

| Gambar Detail | Keterangan |
|---------------|--|
| | <p>Kedalaman pondasi = 2,5 m</p> <p>Tebal pelat = 0,8 m</p> <p>Lebar pondasi (B) = 3,2 m</p> <p>Panjang pondasi (L) = 3,2 m</p> <p>Tulangan lentur x = 19 D – 100</p> <p>Tulangan lentur y = 19 D – 100</p> <p>Tulangan susut = 12 D - 100</p> |

3. Perhitungan Teknis Desain Alternatif Kedua (*Continuous Footing*)

Rencana pondasi terhadap data tanah dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 *Plotting Rencana Pondasi (Continuous Footing)*

Data teknis direncanakan:

Kedalaman pondasi (D_f) = 2,5 m,

Tahanan konus rata-rata dasar pondasi = 404 kg/cm^2 ,

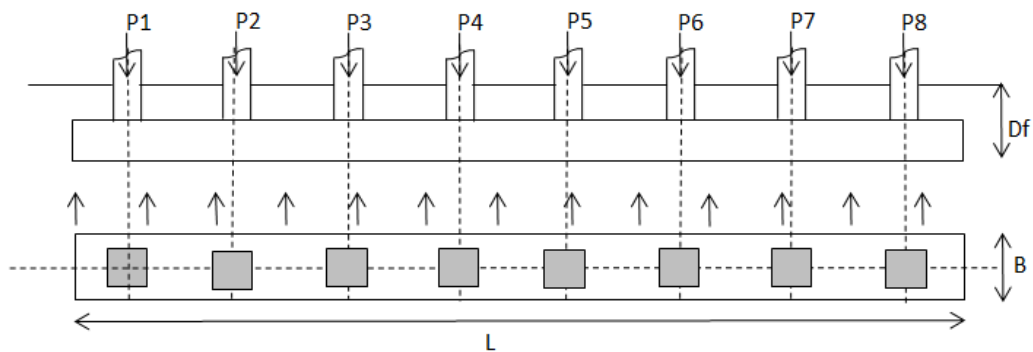
Lebar kolom arah x = 0,7 m,

Lebar kolom arah y = 0,7 m,

Berat beton bertulang γ_c = 24 kN/m³, dan

Posisi kolom α_s = 40.

Sketsa rencana pondasi *continous footing* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Sketsa Rencana Pondasi (*Continous Footing*)

- a. Menentukan dimensi pondasi

Jarak tepi ke titik pusat kolom luar adalah $a = 0,75$ m.

Jarak antar kolom = 8 m.

$$\begin{aligned} \text{Panjang pondasi} &= (2 \times a) + (\text{jarak antar kolom} \times 7) \\ &= (2 \times 0,75) + (8 \times 7) \\ &= 57,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas bidang dasar pondasi yang diperlukan:

$$A = 65,7913 \text{ m}^2.$$

Menghitung posisi resultan R

$$\begin{aligned} R &= \Sigma P \\ &= \Sigma(P_u \times (\text{jarak antar kolom}) / (8 \times P_u) \\ &= [(4934,35 \times 0) + (4934,35 \times 8) + (4934,35 \times (8 \times 2)) + (4934,35 \times \\ &\quad (8 \times 3)) + (4934,35 \times (8 \times 4)) + (4934,35 \times (8 \times 5)) + (4934,35 \times (8 \times 6)) \\ &\quad + (4934,35 \times (8 \times 7))] / (2 \times 4934,35) \\ &= 22,126 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang dan lebar pondasi dihitung sebagai berikut,

$$L = 57,5 \text{ m}$$

$$B = \frac{A}{L}$$

$$= \frac{65,7913}{57,5}$$

$$= 1,175 \text{ m}$$

Dipakai lebar $B = 2,5 \text{ m}$.

Tebal selimut beton = 60 mm.

Tebal pondasi, $h = 1 \text{ m}$.

Tinggi statis = 1,34 m.

b. Kapasitas dukung pondasi

Menurut *Bowless* (1968), daya dukung ijin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_a = \frac{q_c}{33} \times \left[\frac{B+0,3}{B} \right]^2 \times K_d$$

$$\text{dengan } K_d = 1 + 0,33 \frac{D_f}{B}$$

$$= 1 + 0,33 \frac{2,5}{56}$$

$$= 1,0147.$$

Dan dengan syarat $K_d \leq 1,33$

$K_d = 1,0147 < 1,33$, maka syarat terpenuhi.

Maka, kapasitas dukung tanah tersebut adalah

$$q_a = \frac{404}{33} \times \left[\frac{56+0,3}{56} \right]^2 \times 1,0147$$

$$= 12,545 \text{ kg/cm}^2.$$

$$= 1254,49 \text{ kN/m}^2.$$

Kapasitas dukung pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q = \left(A \times \frac{q_a}{SF} \right) / 2$$

$$= \left((2,5 \times 56) \times \frac{1254,49}{3} \right) / 8$$

$$= 7317,9 \text{ kN}$$

$$= 731,79 \text{ Ton}$$

c. Kontrol tegangan tanah

Luas dasar pondasi adalah:

$$A = B_x \times B_y$$

$$= 2,5 \times 56$$

$$= 140 \text{ m}^2$$

Tahanan momen arah x adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_x &= 1/6 \times B_y \times B_x^2 \\ &= 1/6 \times 56 \times 2,5 \\ &= 58,333 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tahanan momen arah y adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_y &= 1/6 \times B_x \times B_y^2 \\ &= 1/6 \times 2,5 \times 56^2 \\ &= 1306,667 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tinggi tanah di atas pondasi adalah:

$$\begin{aligned} z &= D_f - h \\ &= 2,5 - 1 \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan akibat berat pondasi dan tanah adalah:

$$\begin{aligned} q &= (h \times \gamma_c) \\ &= 1 \times 24 \\ &= 24 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Eksentrisitas pada pondasi dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} e_x &= \frac{M_{ux}}{P_u} \\ &= \frac{1,357}{4934,34} \\ &= 0,0003 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{B_x}{6} &= \frac{2,5}{6} \\ &= 0,4167 \text{ m} \end{aligned}$$

Disyaratkan $e_x < B_x/6$:

$0,0003 < 0,4167$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

$$\begin{aligned} e_y &= \frac{M_{uy}}{P_u} \\ &= \frac{152,344}{4934,34} \\ &= 0,0309 \text{ m} \end{aligned}$$

Disyaratkan $e_y < B_x/6$:

$0,0309 < 0,4167$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{4934,34}{140} + \frac{1,357}{58,333} + \frac{152,344}{1306,667} + 24 \\ &= 59,385 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $q_{\max} < q_a$,

$59,385 < 1254,49$, maka aman.

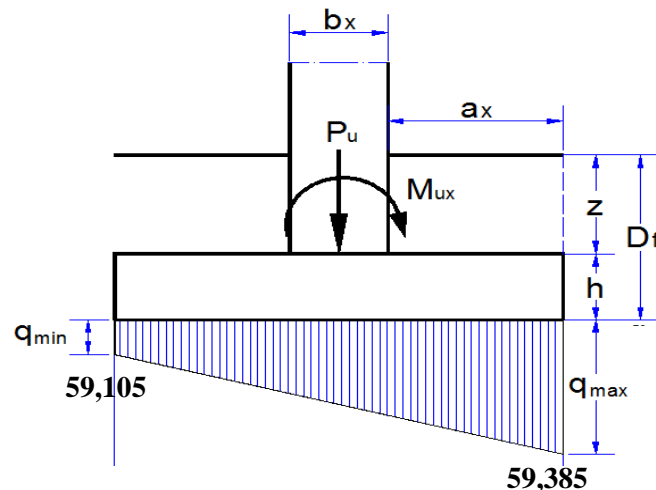
Tegangan minimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_{\min} &= \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{4934,34}{140} - \frac{1,357}{58,333} - \frac{152,344}{1306,667} + 24 \\ &= 59,105 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $q_{\min} > 0$,

$59,105 > 0$, maka tidak terjadi tegangan tarik (aman).

Skema tegangan tanah ditunjukkan pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Skema Tegangan Tanah *Continuous Footing*

d. Gaya geser

1) Tinjauan geser arah x

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,075 \text{ m}$$

Tebal efektif pondasi adalah:

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 1 - 0,075 \\ &= 0,925 \text{ m}\end{aligned}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar pondasi adalah:

$$\begin{aligned}a_x &= \frac{Bx - bx - d}{2} \\ &= \frac{56 - 0,7 - 0,925}{2} \\ &= 27,188 \text{ m}\end{aligned}$$

Tegangan tanah pada bidang kritis geser arah x dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}q_x &= q_{\min} + \frac{(Bx - ax)}{Bx} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 59,105 + \frac{(56 - 27,188)}{56} \times (59,385 - 59,105) \\ &= 59,249 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Gaya geser arah x adalah sebesar:

$$\begin{aligned}V_{ux} &= (q_x + \frac{q_{\max} - q_x}{2 - q}) \times a_x \times B_y \\ &= (59,249 + \frac{59,385 - 59,249}{2 - 24}) \times 27,188 \times 3,2 \\ &= 4152,211 \text{ kN}\end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x

$$\begin{aligned}b &= B_y \\ &= 2,5 \text{ m} \\ &= 2500 \text{ mm}\end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom adalah:

$$\begin{aligned}\beta_c &= \frac{bx}{by} \\ &= \frac{0,7}{0,7} \\ &= 1\end{aligned}$$

Kuat geser pondasi arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$V_{c1} = (1 + \frac{2}{\beta_c}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3}$$

$$= (1 + \frac{2}{1}) \times \sqrt{30} \times 2500 \times \frac{0,925}{6} \times 10^{-3}$$

$$= 6333,042 \text{ kN}$$

$$V_{c2} = (\alpha_s \times \frac{d}{b+2}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3}$$

$$= (40 \times \frac{0,925}{2500+2}) \times \sqrt{30} \times 2500 \times \frac{0,925}{12} \times 10^{-3}$$

$$= 17732,518 \text{ kN}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3}$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 2500 \times 925 \times 10^{-3}$$

$$= 5910,839 \text{ kN}$$

Diambil V_c terkecil, yaitu 5910,839 kN.

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$.

$$\text{Kuat geser pondasi} = \phi \times V_c$$

$$= 0,75 \times 5910,839$$

$$= 4433,129 \text{ kN}$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu $\phi V_c \geq V_{ux}$.

4433,129 > 4152,211, maka syarat terpenuhi (aman).

2) Tinjauan geser arah y

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,075 \text{ m}$$

Tebal efektif pondasi adalah:

$$d = h - d'$$

$$= 1 - 0,075$$

$$= 0,915 \text{ m}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar pondasi adalah:

$$a_y = \frac{By - by - d}{2}$$

$$= \frac{56 - 0,7 - 0,915}{2}$$

$$= 27,193 \text{ m}$$

Tegangan tanah pada bidang kritis geser arah y dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_y &= q_{\min} + \frac{(By - ay)}{By} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\
 &= 59,105 + \frac{(2,5 - 27,193)}{2,5} \times (529,213 - 59,105) \\
 &= 59,249 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya geser arah x adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_{uy} &= (q_y + \frac{q_{\max} - q_y}{2 - q}) \times a_y \times B_x \\
 &= (59,249 + \frac{529,213 - 59,249}{2 - 19,2}) \times 27,193 \times 2, \\
 &= 2400,913 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah y

$$\begin{aligned}
 b &= B_y \\
 &= 56 \text{ m} \\
 &= 56000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom adalah:

$$\begin{aligned}
 \beta_c &= \frac{bx}{by} \\
 &= \frac{0,7}{0,7} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Kuat geser pondasi arah y, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= (1 + \frac{2}{\beta_c}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \\
 &= (1 + \frac{2}{1}) \times \sqrt{30} \times 56000 \times \frac{0,915}{6} \times 10^{-3} \\
 &= 140326,519 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= (\alpha_s \times \frac{d}{b+2}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \\
 &= (40 \times \frac{0,915}{56000+2}) \times \sqrt{30} \times 56000 \times \frac{0,915}{12} \times 10^{-3} \\
 &= 62061,074 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 56000 \times 915 \times 10^{-3} \\
 &= 93551,013 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil V_c terkecil, yaitu 62061,074kN.

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$.

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser pondasi} &= \phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 62061,074 \\ &= 69818,708 \text{ kN}\end{aligned}$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu $\phi V_c \geq V_{uy}$.

69818,708 > 2400,913, maka syarat terpenuhi (aman).

3) Tinjauan geser dua arah

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,085 \text{ m}$$

Tebal efektif pondasi adalah:

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 1 - 0,085 \\ &= 0,915 \text{ m}\end{aligned}$$

Lebar bidang geser pondasi arah x

$$\begin{aligned}c_x &= b_x + 2 \times d \\ &= 0,7 + 2 \times 0,915 \\ &= 2,530 \text{ m}\end{aligned}$$

Lebar bidang pondasi arah y

$$\begin{aligned}c_y &= b_y + 2 \times d \\ &= 0,7 + 2 \times 0,915 \\ &= 2,530 \text{ m}\end{aligned}$$

Gaya geser pondasi yang terjadi

$$\begin{aligned}V_{up} &= (B_x \times B_y - c_x \times c_y) \times \frac{q_{max} - q_{min}}{2-q} \\ &= (2,5 \times 56 - 2,530 \times 2,530) \times \frac{59,385 - 59,105}{2-24} \\ &= 7915,125 \text{ kN}\end{aligned}$$

Luas bidang geser pondasi

$$\begin{aligned}A_p &= 2 \times (c_x + c_y) \times d \\ &= 2 \times (2,530 + 2,530) \times 0,915 \\ &= 9,260 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Lebar bidang geser pondasi

$$\begin{aligned} b_p &= 2 \times (c_x + c_y) \\ &= 2 \times (2,530 + 2,530) \\ &= 10,120 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\begin{aligned} \beta_c &= \frac{bx}{by} \\ &= \frac{0,7}{0,7} \\ &= 1 \end{aligned}$$

Tegangan geser pondasi, diambil nilai terkecil dari f_p yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f_{p1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \\ &= 2,739 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{p2} &= \left(\alpha_s \times \frac{d}{b_p} + 2\right) \times \frac{1}{12} \sqrt{f'c} \\ &= \left(40 \times \frac{0,915}{10,120} + 2\right) \times \frac{1}{12} \sqrt{30} \\ &= 2,564 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{p3} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{30} \\ &= 1,826 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tegangan geser pondasi yang disyaratkan adalah yang mempunyai nilai terkecil, yaitu 1,826 Mpa.

Faktor reduksi kekuatan geser pondasi, $\phi = 0,75$.

Kuat geser pondasi

$$\begin{aligned} \phi \times V_{np} &= \phi \times A_p \times f_p \times 10^3 \\ &= 0,75 \times 9,260 \times 1,826 \times 10^3 \\ &= 44378,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

Disyaratkan:

$$\phi V_{np} \geq V_{up}$$

$44378,26 > 7915,125$, maka sesuai persyaratan (aman).

$$\phi V_{np} \geq P_u$$

$44378,26 > 39474,788$, maka sesuai persyaratan (aman).

e. Pembesian pondasi

1) Tulangan lentur *sloof*

$$M_u \text{ max} = 152,344 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\phi} &= \frac{152,344}{0,9} \\ &= 169,2711 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lebar *sloof*, $b_{sloof} = 700 \text{ mm}$.

Tinggi *sloof*, $h_{sloof} = 1000 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{169,2711 \times 10^6}{700 \times 1000^2} \\ &= 0,28883 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 f'c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,6863 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times m \times R_n)}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,6863} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times 15,6863 \times 0,28883)}{400}} \right] \\ &= 0,00073 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times d \\ &= 0,0035 \times 915 \\ &= 3203,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{stul}} &= (1/4) \pi \times D^2 \\ &= (1/4) \pi \times 22^2 \end{aligned}$$

$$= 380,133 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (tul. atas)} &= \frac{A_s}{A_s \text{ tul}} \\ &= \frac{3203,5}{380,133} \\ &= 8,4269 \text{ batang} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan pakai (tul. atas)} = 10 \text{ D } 22.$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (tul. bawah)} &= \frac{A_s}{2 \times A_s \text{ tul}} \\ &= \frac{3203,5}{2 \times 380,133} \\ &= 4,21234 \text{ batang} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan pakai (tul. bawah)} = 5 \text{ D } 22.$$

$$\text{Mu tumpuan} = 153,701 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{Mu}{\phi} &= \frac{153,701}{0,9} \\ &= 170,779 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{170,779 \times 10^6}{700 \times 915^2} \\ &= 0,2914 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times m \times R_n)}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,6863} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times 15,6863 \times 0,28883)}{400}} \right] \\ &= 0,00073 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times d \\ &= 0,0035 \times 915 \\ &= 3203,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{stul}} &= (1/4) \pi \times D^2 \\ &= (1/4) \pi \times 22^2 \end{aligned}$$

$$= 380,133 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (tul. atas)} &= \frac{A_s}{A_s \text{ tul}} \\ &= \frac{3203,5}{380,133} \\ &= 8,4269 \text{ batang} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan pakai (tul. atas)} = 10 \text{ D } 22.$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (tul. bawah)} &= \frac{A_s}{2 \times A_s \text{ tul}} \\ &= \frac{3203,5}{2 \times 380,133} \\ &= 4,21234 \text{ batang} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan pakai (tul. bawah)} = 5 \text{ D } 22.$$

2) Tulangan lentur arah x

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar *footplate*

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{B_x - b_x}{2} \\ &= \frac{56 - 0,7}{2} \\ &= 27,650 \text{ m} \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada tepi kolom dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_x &= q_{\min} + \frac{B_x - a_x}{B_x} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 59,105 + \frac{56 - 27,650}{56} \times (59,385 - 59,105) \\ &= 59,247 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah adalah:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1/2) \times a_x^2 \times [q_x + (2/3) \times (q_{\max} - q_x) - q] \times B_y \\ &= (1/2) \times 27,650^2 \times [59,247 + (2/3) \times (59,385 - 59,247) - \\ &\quad 24] \times 2,5 \\ &= 33771,982 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lebar pelat pondasi yang ditinjau adalah:

$$\begin{aligned} b &= B_y \\ &= 2500 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal pelat pondasi, $h = 1000 \text{ mm}$.

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 75 \text{ mm}$.

Tebal efektif pelat adalah:

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 1000 - 75 \\ &= 925 \text{ mm}\end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$.

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$.

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600+400} \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$.

$$\begin{aligned}R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 7,888\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{33771,982}{0,8} \\ &= 42214,978 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{42214,978 \times 10^6}{3200 \times 725^2} \\ &= 2,8193\end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $R_n < R_{\max}$.

$2,8193 < 7,88$, maka syarat terpenuhi.

Rasio tulangan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{2,8193}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0075\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0025$.

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$.

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 2500 \times 925 \\ &= 5781,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 16 \text{ mm}$ (D16).

Jarak tulangan yang diperlukan, yaitu:

$$\begin{aligned} s &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= (\pi/4) \times 16^2 \times \frac{2500}{5781,25} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan yang dipakai adalah 150 mm, maka digunakan tulangan D 16 – 150.

3) Tulangan lentur arah y

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pondasi

$$\begin{aligned} a_y &= \frac{B_y - b_y}{2} \\ &= \frac{2,5 - 0,7}{2} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada tepi kolom dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_y &= q_{\min} + \frac{B_y - a_y}{B_y} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 59,105 + \frac{2,5 - 0,9}{2,5} \times (59,385 - 59,105) \\ &= 59,285 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah adalah:

$$\begin{aligned} M_{uy} &= (1/2) \times a_y^2 \times [q_y + (2/3) \times (q_{\max} - q_y) - q] \times B_x \\ &= (1/2) \times 0,9^2 \times [59,285 + (2/3) \times (59,385 - 59,285) - \\ &\quad 24] \times 56 \\ &= 801,775 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lebar pelat pondasi yang ditinjau adalah:

$$\begin{aligned} b &= B_x \\ &= 56000 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal pelat pondasi, $h = 1000$ mm.

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 75$ mm.

Tebal efektif pelat adalah:

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 1000 - 75 \\ &= 925 \text{ mm} \end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ Mpa.

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$.

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600+400} \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$.

$$\begin{aligned} R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 7,888 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{uy}}{\phi} \\ &= \frac{801,775}{0,8} \\ &= 1002,219 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{1002,219 \times 10^6}{56000 \times 925^2} \\ &= 0,0209 \end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $R_n < R_{\max}$.

$0,0209 < 7,88$, maka syarat terpenuhi.

Rasio tulangan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{0,0209}{0,85 \times 30}}\right) \end{aligned}$$

$$= 0,0001$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0025$.

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$.

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 56000 \times 925 \\ &= 129500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 16 \text{ mm (D16)}$.

Jarak tulangan yang diperlukan, yaitu:

$$\begin{aligned} s &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= (\pi/4) \times 16^2 \times \frac{56000}{129500} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan yang dipakai adalah 150 mm, maka digunakan tulangan D 16 – 150.

4) Tulangan susut

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0014$.

Luas tulangan susut arah x:

$$\begin{aligned} A_{sx} &= \rho_{\min} \times d \times B_x \\ &= 0,0014 \times 925 \times 56000 \\ &= 72520 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan susut arah y:

$$\begin{aligned} A_{sy} &= \rho_{\min} \times d \times B_y \\ &= 0,0014 \times 925 \times 2500 \\ &= 3237,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 12 \text{ mm (D12)}$.

Jarak tulangan susut arah x:

$$\begin{aligned} s_x &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_y}{A_{sx}} \\ &= (\pi/4) \times 12^2 \times \frac{56000}{72520} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut maksimum arah x, $s_{x \max} = 200 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah x yang digunakan = 100 mm.

Jarak tulangan susut arah y:

$$\begin{aligned} s_y &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{Bx}{A_{sy}} \\ &= (\pi/4) \times 12^2 \times \frac{2500}{3237,5} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

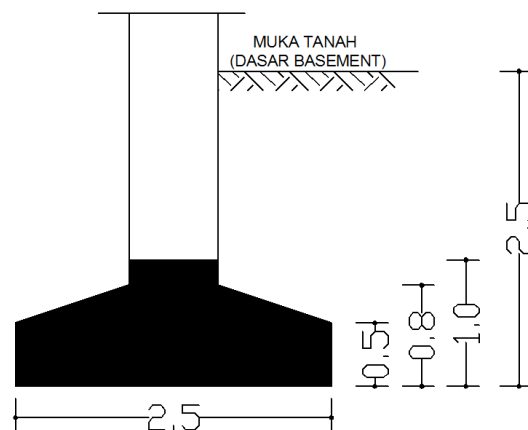
Jarak tulangan susut maksimum arah y, $s_{y \text{ max}} = 200 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah y yang digunakan = 100 mm.

Digunakan tulangan susut arah x = D 12 – 100.

Digunakan tulangan susut arah y = D 12 – 100.

Berdasarkan perhitungan di atas, detail pondasi ditunjukkan oleh Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Desain Alternatif (Pondasi Menerus)

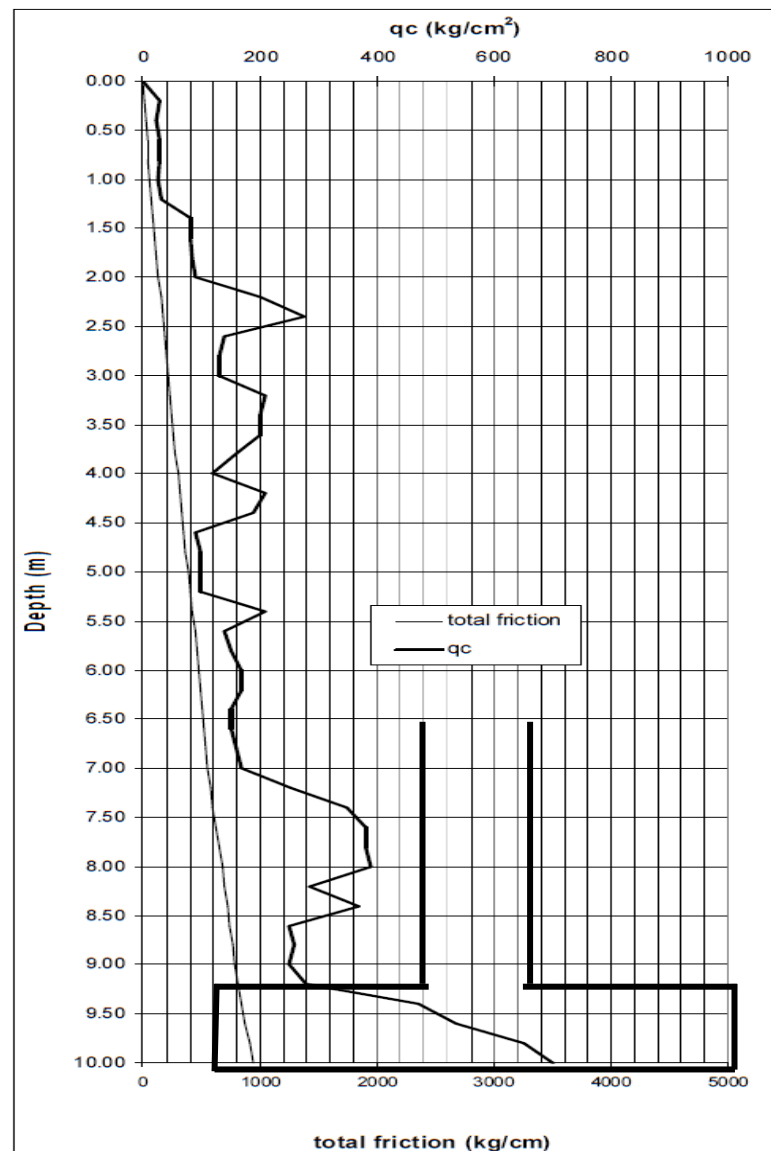
Detail struktur pada desain pondasi menerus tersebut adalah seperti pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Detail Struktur Pondasi Menerus

| Gambar Detail | Keterangan |
|---|--|
| <p>The drawing shows a cross-section of a continuous foundation. A column is supported by a 1m thick slab, which is supported by a 2.5m wide sloof. The sloof has a depth of 2.5m. The ground level is at -7.95, and the base of the foundation is at -10.42. The working floor level is at -10.35. The drawing also shows a plan view of the 2.5m wide sloof with reinforcement details.</p> | <p>Kedalaman pondasi = 2,5 m</p> <p>Tebal pelat = 1 m</p> <p>Lebar pondasi (B) = 2,5 m</p> <p>Panjang pondasi (L) = 57,5 m</p> <p>Tulangan lentur x = 16 D – 150</p> <p>Tulangan lentur y = 16 D – 150</p> <p>Tulangan susut = 12 D – 100</p> <p>Sloof 700 x 1000</p> <p>Tulangan atas = 10D22</p> <p>Tulangan bawah = 5D22</p> <p>Senggang = 2D13-100</p> |

4. Perhitungan Teknis Desain Alternatif Ketiga (Pondasi Gabungan)

Rencana pondasi terhadap data tanah dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Plotting Rencana Pondasi (Pondasi Gabungan)

Data teknis direncanakan:

Kedalaman pondasi (D_f) = 2,5 m,

Tahanan konus rata-rata dasar pondasi = 404 kg/cm²,

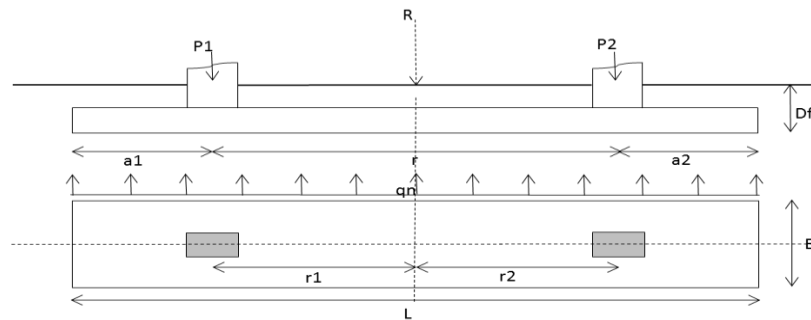
Lebar kolom arah x = 0,7 m,

Lebar kolom arah y = 0,7 m,

Berat beton bertulang γ_c = 24 kN/m³, dan

Posisi kolom α_s = 40.

Sketsa desain pondasi gabungan dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Sketsa Desain Pondasi Gabungan

- a. Menentukan dimensi pondasi

Jarak tepi ke titik pusat kolom luar adalah $a = 0,75$ m.

Jarak antar kolom = 8 m.

$$\begin{aligned} \text{Panjang pondasi} &= (2 \times a) + (\text{jarak antar kolom}) \\ &= (2 \times 0,75) + 8 \\ &= 9,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas bidang dasar pondasi yang diperlukan:

$$A = 19,73739 \text{ m}^2.$$

Menghitung posisi resultan R

$$\begin{aligned} R &= \Sigma P \\ &= (P_u \times (\text{jarak antar kolom})) / (2 \times P_u) \\ &= (4934,35 \times 8) / (2 \times 4934,35) \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang dan lebar pondasi dihitung sebagai berikut,

$$L = 9,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{A}{L} \\ &= \frac{19,73739}{9,5} \\ &= 2,07762 \text{ m} \end{aligned}$$

Dipakai lebar $B = 2,7$ m.

Tebal selimut beton = 60 mm.

Tebal pondasi, $h = 1$ m.

Tinggi statis = 1,34 m.

b. Kapasitas dukung pondasi

Menurut *Bowless* (1968), daya dukung ijin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_a = \frac{q_c}{33} \times \left[\frac{B+0,3}{B} \right]^2 \times K_d$$

$$\text{dengan } K_d = 1 + 0,33 \frac{Df}{B}$$

$$= 1 + 0,33 \frac{2,5}{9,5}$$

$$= 1,0868.$$

Dan dengan syarat $K_d \leq 1,33$

$K_d = 1,0868 < 1,33$, maka syarat terpenuhi.

Maka, kapasitas dukung tanah tersebut adalah

$$q_a = \frac{404}{33} \times \left[\frac{9,5+0,3}{9,5} \right]^2 \times 1,0868$$

$$= 14,146 \text{ kg/cm}^2.$$

$$= 1414,65 \text{ kN/m}^2.$$

Kapasitas dukung pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q = (A \times \frac{q_a}{SF}) / 2$$

$$= ((2,7 \times 9,5) \times \frac{1414,65}{3}) / 2$$

$$= 6047,76 \text{ kN}$$

$$= 604,76 \text{ Ton}$$

c. Kontrol tegangan tanah

Luas dasar *footplate* adalah:

$$A = B_x \times B_y$$

$$= 2,7 \times 9,5$$

$$= 25,65 \text{ m}^2$$

Tahanan momen arah x adalah sebagai berikut.

$$W_x = 1/6 \times B_y \times B_x^2$$

$$= 1/6 \times 9,5 \times 2,7$$

$$= 11,542 \text{ m}^3$$

Tahanan momen arah x adalah sebagai berikut.

$$W_y = 1/6 \times B_x \times B_y^2$$

$$= 1/6 \times 2,7 \times 9,5^2$$

$$= 40,6125 \text{ m}^3$$

Tinggi tanah di atas *footplate* adalah:

$$z = D_f - h$$

$$= 2,5 - 1$$

$$= 1,5 \text{ m}$$

Tekanan akibat berat *footplate* dan tanah adalah:

$$q = (h \times \gamma_c)$$

$$= 1 \times 24$$

$$= 24 \text{ kN/m}^2$$

Eksentrisitas pada pondasi dihitung sebagai berikut.

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u}$$

$$= \frac{1,357}{4934,34}$$

$$= 0,0003 \text{ m}$$

$$\frac{B_x}{6} = \frac{2,7}{6}$$

$$= 0,45 \text{ m}$$

Disyaratkan $e_x < B_x/6$:

$0,0003 < 0,45$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u}$$

$$= \frac{152,344}{4934,34}$$

$$= 0,0309 \text{ m}$$

Disyaratkan $e_y < B_x/6$:

$0,0309 < 0,45$, maka sudah terpenuhi syaratnya.

Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$q_{\max} = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q$$

$$= \frac{4934,34}{25,65} + \frac{1,357}{11,542} + \frac{152,344}{40,6125} + 24$$

$$= 220,241 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan bahwa $q_{\max} < q_a$,

$220,241 < 1414,65$, maka aman.

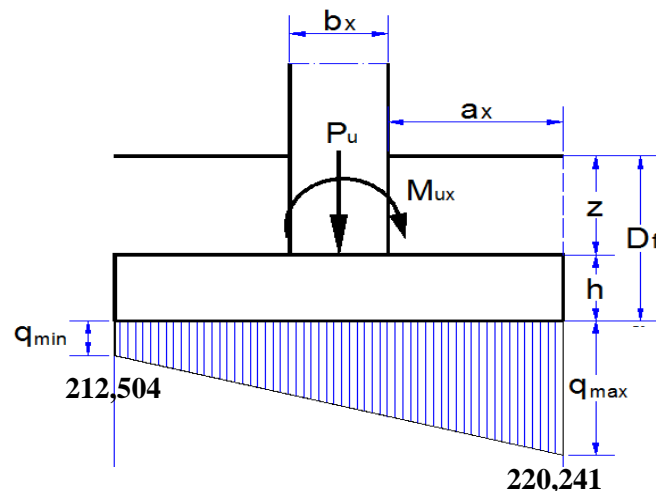
Tegangan minimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_{\min} &= \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{4934,34}{25,65} - \frac{1,357}{11,542} - \frac{152,344}{40,6125} + 24 \\ &= 212,504 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $q_{\min} > 0$,

$212,504 > 0$, maka tidak terjadi tegangan tarik (aman).

Skema tegangan tanah ditunjukkan pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Skema Tegangan Tanah Pondasi Gabungan

d. Gaya geser

1) Tinjauan geser arah x

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,075 \text{ m}$$

Tebal efektif *footplate* adalah:

$$d = h - d'$$

$$= 1 - 0,075$$

$$= 0,925 \text{ m}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar *footplate* adalah:

$$\begin{aligned}
 a_x &= \frac{Bx - bx - d}{2} \\
 &= \frac{9,5 - 0,7 - 0,925}{2} \\
 &= 3,938 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada bidang kritis geser arah x dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_x &= q_{\min} + \frac{(Bx - ax)}{Bx} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\
 &= 212,504 + \frac{(9,5 - 3,938)}{9,5} \times (220,241 - 212,504) \\
 &= 217,034 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya geser arah x adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_{ux} &= (q_x + \frac{q_{\max} - q_x}{2 - q}) \times a_x \times B_y \\
 &= (217,034 + \frac{220,241 - 217,034}{2 - 24}) \times 3,938 \times 2,7 \\
 &= 2804,026 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x

$$\begin{aligned}
 b &= B_y \\
 &= 2,7 \text{ m} \\
 &= 2700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom adalah:

$$\begin{aligned}
 \beta_c &= \frac{bx}{by} \\
 &= \frac{0,7}{0,7} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Kuat geser *footplate* arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= (1 + \frac{2}{\beta_c}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \\
 &= (1 + \frac{2}{1}) \times \sqrt{30} \times 2700 \times \frac{0,925}{6} \times 10^{-3} \\
 &= 6839,685 \text{ kN} \\
 V_{c2} &= (\alpha_s \times \frac{d}{b+2}) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \\
 &= (40 \times \frac{0,925}{2700+2}) \times \sqrt{30} \times 2700 \times \frac{0,925}{12} \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 17901,399 \text{ kN} \\
 V_c 3 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 2700 \times 925 \times 10^{-3} \\
 &= 4559,79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil V_c terkecil, yaitu 4559,79 kN.

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$.

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser } footplate &= \phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 4559,79 \\
 &= 3419,843 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu $\phi V_c \geq V_{ux}$.

$3419,843 > 2804,026$, maka syarat terpenuhi (aman).

2) Tinjauan geser arah y

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,085 \text{ m}$$

Tebal efektif *footplate* adalah:

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 1 - 0,085 \\
 &= 0,915 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar *footplate* adalah:

$$\begin{aligned}
 a_y &= \frac{By - by - d}{2} \\
 &= \frac{9,5 - 0,7 - 0,915}{2} \\
 &= 3,943 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada bidang kritis geser arah y dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_y &= q_{\min} + \frac{(By - ay)}{By} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\
 &= 212,504 + \frac{(2,7 - 3,943)}{2,7} \times (220,241 - 212,504) \\
 &= 341,345 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya geser arah y adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_{uy} &= \left(q_y + \frac{q_{max} - q_y}{2 - q} \right) \times a_y \times B_x \\
 &= \left(341,345 + \frac{220,241 - 341,345}{2 - 24} \right) \times 3,943 \times 9,5 \\
 &= 2733,495 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah y

$$\begin{aligned}
 b &= B_y \\
 &= 2,7 \text{ m} \\
 &= 2700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom adalah:

$$\begin{aligned}
 \beta_c &= \frac{bx}{by} \\
 &= \frac{0,7}{0,7} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Kuat geser *footplate* arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \\
 &= \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{30} \times 9500 \times \frac{0,915}{6} \times 10^{-3} \\
 &= 6765,743 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= \left(\alpha_s \times \frac{d}{b+2} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \\
 &= \left(40 \times \frac{0,915}{9500+2} \right) \times \sqrt{30} \times 9500 \times \frac{0,915}{12} \times 10^{-3} \\
 &= 17540,815 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 9500 \times 915 \times 10^{-3} \\
 &= 4510,495 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil V_c terkecil, yaitu 4510,495 kN.

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$.

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser } footplate &= \phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 4510,495 \\
 &= 3382,871 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu $\phi V_c \geq V_{uy}$.

$3382,871 > 2733,495$, maka syarat terpenuhi (aman).

3) Tinjauan geser dua arah

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton adalah:

$$d' = 0,085 \text{ m}$$

Tebal efektif *footplate* adalah:

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 1 - 0,085 \\ &= 0,915 \text{ m} \end{aligned}$$

Lebar bidang geser pondasi arah x

$$\begin{aligned} c_x &= b_x + 2 \times d \\ &= 0,7 + 2 \times 0,915 \\ &= 2,530 \text{ m} \end{aligned}$$

Lebar bidang pondasi arah y

$$\begin{aligned} c_y &= b_y + 2 \times d \\ &= 0,7 + 2 \times 0,915 \\ &= 2,530 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya geser pondasi yang terjadi

$$\begin{aligned} V_{up} &= (B_x \times B_y - c_x \times c_y) \times \frac{q_{max} - q_{min}}{2 - q} \\ &= (2,7 \times 9,5 - 2,530 \times 2,530) \times \frac{220,241 - 212,504}{2 - 24} \\ &= 4164,971 \text{ kN} \end{aligned}$$

Luas bidang geser pondasi

$$\begin{aligned} A_p &= 2 \times (c_x + c_y) \times d \\ &= 2 \times (2,530 + 2,530) \times 0,915 \\ &= 9,260 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Lebar bidang geser pondasi

$$\begin{aligned} b_p &= 2 \times (c_x + c_y) \\ &= 2 \times (2,530 + 2,530) \\ &= 10,120 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\begin{aligned}\beta_c &= \frac{bx}{by} \\ &= \frac{0,7}{0,7} \\ &= 1\end{aligned}$$

Tegangan geser pondasi, diambil nilai terkecil dari f_p yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}f_{p1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \\ &= 2,739 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{p2} &= \left(\alpha_s \times \frac{d}{bp} + 2\right) \times \frac{1}{12} \sqrt{f'c} \\ &= \left(40 \times \frac{0,915}{5,66} + 2\right) \times \frac{1}{12} \sqrt{30} \\ &= 2,564 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{p3} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{30} \\ &= 1,826 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Tegangan geser pondasi yang disyaratkan adalah yang mempunyai nilai terkecil, yaitu 1,826 Mpa.

Faktor reduksi kekuatan geser pondasi, $\phi = 0,75$.

Kuat geser pondasi

$$\begin{aligned}\phi \times V_{np} &= \phi \times A_p \times f_p \times 10^3 \\ &= 0,75 \times 9,260 \times 1,826 \times 10^3 \\ &= 44378,26 \text{ kN}\end{aligned}$$

Disyaratkan:

$$\begin{aligned}\phi V_{np} &\geq V_{up} \\ 44378,26 &> 4164,971, \text{ maka sesuai persyaratan (aman).}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_{np} &\geq P_u \\ 44378,26 &> 4934,348, \text{ maka sesuai persyaratan (aman).}\end{aligned}$$

e. Pembesian pondasi

1) Tulangan lentur *sloof*

$$M_u \text{ max} = 152,344 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\phi} &= \frac{152,344}{0,9} \\ &= 169,2711 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lebar *sloof*, $b_{sloof} = 700 \text{ mm}$.

Tinggi *sloof*, $h_{sloof} = 1000 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{169,2711 \times 10^6}{700 \times 1000^2} \\ &= 0,28883 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 f'c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,6863 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times m \times R_n)}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,6863} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times 15,6863 \times 0,28883)}{400}} \right] \\ &= 0,00073 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times d \\ &= 0,0035 \times 915 \\ &= 3203,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{stul}} &= (1/4) \pi \times D^2 \\ &= (1/4) \pi \times 22^2 \\ &= 380,133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (tul. atas)} &= \frac{A_s}{A_{s \text{ tul}}} \\ &= \frac{3203,5}{380,133} \\ &= 8,4269 \text{ batang} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pakai (tul. atas) = 10 D 22.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (tul. bawah)} &= \frac{A_s}{2 \times A_s \text{ tul}} \\
 &= \frac{3203,5}{2 \times 380,133} \\
 &= 4,21234 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pakai (tul. bawah) = 5 D 22.

$$\text{Mu tumpuan} = 153,701 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Mu}{\phi} &= \frac{153,701}{0,9} \\
 &= 170,779 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\
 &= \frac{170,779 \times 10^6}{700 \times 915^2} \\
 &= 0,2914 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times m \times R_n)}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,6863} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \times 15,6863 \times 0,28883)}{400}} \right] \\
 &= 0,00073
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times d \\
 &= 0,0035 \times 915 \\
 &= 3203,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{stul}} &= (1/4) \pi \times D^2 \\
 &= (1/4) \pi \times 22^2 \\
 &= 380,133 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (tul. atas)} &= \frac{A_s}{A_s \text{ tul}} \\
 &= \frac{3203,5}{380,133} \\
 &= 8,4269 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pakai (tul. atas) = 10 D 22.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (tul. bawah)} &= \frac{As}{2 \times As \text{ tul}} \\
 &= \frac{3203,5}{2 \times 380,133} \\
 &= 4,21234 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pakai (tul. bawah) = 5 D 22.

2) Tulangan lentur arah x

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pondasi

$$\begin{aligned}
 a_x &= \frac{Bx - bx}{2} \\
 &= \frac{9,5 - 0,7}{2} \\
 &= 4,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada tepi kolom dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_x &= q_{\min} + \frac{Bx - ax}{Bx} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\
 &= 212,504 + \frac{9,5 - 4,4}{9,5} \times (220,241 - 212,504) \\
 &= 216,657 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah adalah:

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= (1/2) \times a_x^2 \times [q_x + (2/3) \times (q_{\max} - q_x) - q] \times B_y \\
 &= (1/2) \times 4,4^2 \times [216,657 + (2/3) \times (220,241 - 216,657) - \\
 &\quad 24] \times 9,5 \\
 &= 5097,734 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Lebar pelat pondasi yang ditinjau adalah:

$$\begin{aligned}
 b &= B_y \\
 &= 2700 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat pondasi, $h = 1000 \text{ mm}$.

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 75 \text{ mm}$.

Tebal efektif pelat adalah:

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 1000 - 75 \\
 &= 925 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$.

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$.

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600+400} \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$.

$$\begin{aligned}R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 7,888\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{5097,734}{0,8} \\ &= 6372,167 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{6372,167 \times 10^6}{2700 \times 915^2} \\ &= 2,758\end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $R_n < R_{\max}$.

$2,758 < 7,88$, maka syarat terpenuhi.

Rasio tulangan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{2,758}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0073\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0025$.

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$.

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 2700 \times 925 \\ &= 6243,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 16 \text{ mm}$ (D16).

Jarak tulangan yang diperlukan, yaitu:

$$\begin{aligned} s &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= (\pi/4) \times 16^2 \times \frac{2700}{6243,75} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan yang dipakai adalah 150 mm, maka digunakan tulangan D 16 – 150.

3) Tulangan lentur arah y

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pondasi

$$\begin{aligned} a_y &= \frac{B_y - b_y}{2} \\ &= \frac{2,7 - 0,7}{2} \\ &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Tegangan tanah pada tepi kolom dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q_y &= q_{\min} + \frac{B_y - a_y}{B_y} \times (q_{\max} - q_{\min}) \\ &= 212,504 + \frac{2,7 - 1}{2,7} \times (220,241 - 212,504) \\ &= 217,375 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah adalah:

$$\begin{aligned} M_{uy} &= (1/2) \times a_y^2 \times [q_y + (2/3) \times (q_{\max} - q_y) - q] \times B_x \\ &= (1/2) \times 1^2 \times [217,375 + (2/3) \times (220,241 - 217,375) - \\ &\quad 24] \times 2,7 \\ &= 927,607 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lebar pelat pondasi yang ditinjau adalah:

$$\begin{aligned} b &= B_x \\ &= 9500 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal pelat pondasi, $h = 1000 \text{ mm}$.

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 75 \text{ mm}$.

Tebal efektif pelat adalah:

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 1000 - 75 \\ &= 925 \text{ mm} \end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$.

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$.

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600+400} \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$.

$$\begin{aligned}R_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'c}\right) \\ &= 7,888\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{uy}}{\phi} \\ &= \frac{927,607}{0,8} \\ &= 1159,509 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{1159,509 \times 10^6}{9500 \times 925^2} \\ &= 0,1426\end{aligned}$$

Disyaratkan bahwa $R_n < R_{\max}$.

$0,1426 < 7,88$, maka syarat terpenuhi.

Rasio tulangan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{400} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{0,1426}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0004\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\min} = 0,0025$.

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$.

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 9500 \times 925\end{aligned}$$

$$= 21968,75 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 16 \text{ mm}$ (D16).

Jarak tulangan yang diperlukan, yaitu:

$$\begin{aligned} s &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= (\pi/4) \times 16^2 \times \frac{9500}{21968,75} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan yang dipakai adalah 150 mm, maka digunakan tulangan D 16 – 150.

4) Tulangan susut

Rasio tulangan minimum, $\rho_{\text{min}} = 0,0014$.

Luas tulangan susut arah x:

$$\begin{aligned} A_{sx} &= \rho_{\text{min}} \times d \times B_x \\ &= 0,0014 \times 915 \times 2700 \\ &= 3496,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan susut arah y:

$$\begin{aligned} A_{sy} &= \rho_{\text{min}} \times d \times B_y \\ &= 0,0014 \times 915 \times 9500 \\ &= 12302,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan, $D = 12 \text{ mm}$ (D12).

Jarak tulangan susut arah x:

$$\begin{aligned} s_x &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_y}{A_{sx}} \\ &= (\pi/4) \times 12^2 \times \frac{9500}{12302,5} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut maksimum arah x, $s_{x \text{ max}} = 200 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah x yang digunakan, $s_x = 100 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah y:

$$\begin{aligned} s_y &= (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_x}{A_{sy}} \\ &= (\pi/4) \times 12^2 \times \frac{2700}{3496,5} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

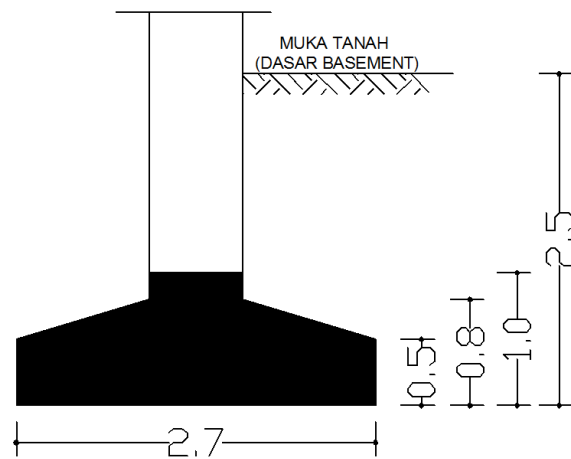
Jarak tulangan susut maksimum arah x, $s_{x \max} = 200 \text{ mm}$.

Jarak tulangan susut arah x yang digunakan, $s_x = 100 \text{ mm}$.

Digunakan tulangan susut arah x = D 12 – 100.

Digunakan tulangan susut arah y = D 12 – 100.

Berdasarkan perhitungan di atas, detail pondasi ditunjukkan oleh Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Desain Alternatif (Pondasi Gabungan)

Detail struktur pada desain pondasi gabungan tersebut adalah seperti pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Detail Struktur Pondasi Gabungan

| Gambar Detail | Keterangan |
|---------------|--|
| | Kedalaman pondasi = 2,5 m Tebal pelat = 1 m Lebar pondasi (B) = 2,7 m Panjang pondasi (L) = 9,5 m Tulangan lentur x = 16 D – 150 Tulangan lentur y = 16 D – 150 Tulangan susut = 12 D – 100 Sloof 700 x 1000 Tulangan atas = 10D22 Tulangan bawah = 5D22 Sengkang = 2D13-100 |

Perbandingan daya dukung keempat pondasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Perbandingan Daya Dukung Pondasi

| Pondasi | <i>Footplate</i> 3,5 x 3,5 m | <i>Footplate</i> 3,2 x 3,2 m | Pondasi Menerus | Pondasi Gabungan |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| Daya Dukung (Ton) | 727,51 | 628,21 | 731,79 | 604,76 |
| Keterangan | Aman | Aman | Aman | Aman |

Desain *existing* dan desain alternatif tersebut di atas dapat dinyatakan aman, karena kapasitas dukungnya memenuhi untuk beban aksial sebesar 493,434 Ton. Pondasi yang mempunyai daya dukung paling besar adalah pondasi menerus, sedangkan pondasi gabungan mempunyai daya dukung yang paling kecil. Untuk detail perhitungan pondasi dapat dilihat pada Lampiran 2.

5.2.3 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Sebagai asumsi perhitungan digunakan harga kontrak (awal) tanpa adanya eskalasi harga hingga disusunnya penelitian ini. Perhitungan biaya menggunakan harga bahan dan upah tenaga kerja maupun alat digunakan asumsi berdasarkan Peraturan Walikota Nomor 21 Tahun 2017 tentang Standar Harga Barang dan Jasa pada Pemerintah Kota Yogyakarta.

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada desain *existing* (as 2-B sampai 11-B) ditunjukkan pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 RAB Pondasi *Footplate* 3,5 x 3,5 m

| No | Jenis Pekerjaan | Sat. | Vol. | Harga Satuan | Jumlah | Sub Total |
|--|---|----------------|---------|--------------|-------------|--------------------|
| I. PEKERJAAN TANAH | | | | | | |
| 1 | Galian tanah <i>footplate</i> | m ³ | 245 | 80.970 | 19.837.650 | |
| 2 | Urugan tanah kembali <i>footplate</i> | m ³ | 117,208 | 19.690 | 2.307.825 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN GALIAN/URUGAN TANAH | | | | | | 22.145.475 |
| II. PEKERJAAN PONDASI | | | | | | |
| 1 | Basement | | | | | |
| | Pondasi <i>footplate</i> lebar 3,5 m | m ³ | 127,79 | 2.866.233 | 366.281.765 | |
| | Lantai kerja <i>footplate</i> lebar 3,75 m tebal 7 cm | m ³ | 7,6664 | 750.520 | 5.753.786 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN PONDASI | | | | | | 372.035.551 |
| TOTAL BIAYA PEKERJAAN PONDASI FOOTPLATE 3,5 x 3,5 m | | | | | | 394.181.027 |

Pada perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada desain alternatif pertama hingga alternatif ketiga digunakan harga bahan dan upah tenaga kerja maupun alat yang sama dengan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada desain *existing*.

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada desain alternatif pondasi pertama (as 2-B sampai 11-B) ditunjukkan pada Tabel 5.13 berikut. Untuk detail perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.13 RAB Pondasi *Footplate* 3,2 x 3,2 m

| No | Jenis Pekerjaan | Sat. | Vol. | Harga Satuan | Jumlah | Sub Total |
|--|---|----------------|--------|--------------|-------------|--------------------|
| | I. PEKERJAAN TANAH | | | | | |
| 1 | Galian tanah <i>footplate</i> | m ³ | 204,8 | 80.970 | 16.582.656 | |
| 2 | Urugan tanah kembali <i>footplate</i> | m ³ | 103,64 | 19.690 | 2.040.671 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN GALIAN/URUGAN TANAH | | | | | | 18.623.327 |
| | II. PEKERJAAN PONDASI | | | | | |
| 1 | Basement | | | | | |
| | Pondasi <i>footplate</i> lebar 3,2 m | m ³ | 101,16 | 3.040.795 | 307.606.898 | |
| | Lantai kerja <i>footplate</i> lebar 3,25 m tebal 7 cm | m ³ | 6,473 | 750.520 | 4.858.566 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN PONDASI | | | | | | 312.465.464 |
| TOTAL BIAYA PEKERJAAN PONDASI FOOTPLATE 3,2 x 3,2 m | | | | | | 331.088.792 |

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada desain alternatif pondasi kedua (as 2-B sampai 11-B) ditunjukkan pada Tabel 5.14 berikut. Untuk detail perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.14 RAB Pondasi Menerus

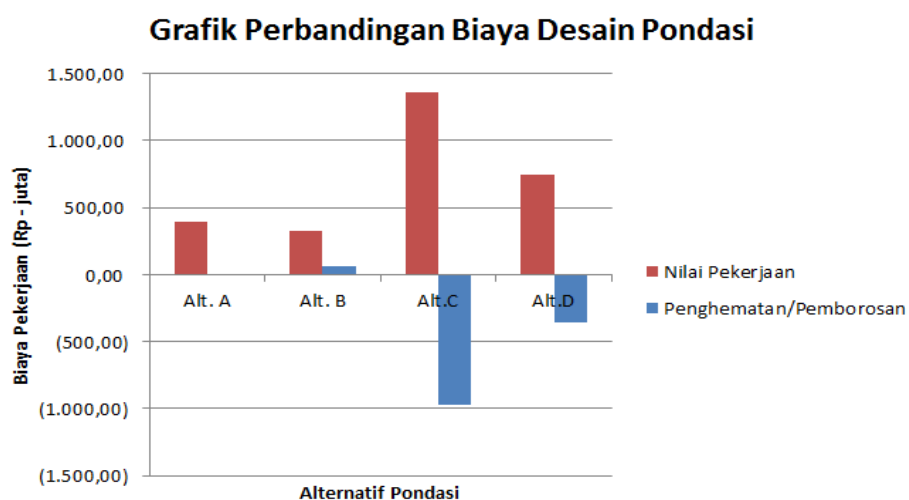
| No | Jenis Pekerjaan | Sat. | Vol. | Harga Satuan | Jumlah | Sub Total |
|---|--|----------------|--------|--------------|---------------|----------------------|
| | I. PEKERJAAN TANAH | | | | | |
| 1 | Galian tanah <i>continous footing</i> | m ³ | 350 | 80.970 | 28.339.500 | |
| 2 | Urugan tanah kembali <i>continous footing</i> | m ³ | 229,04 | 19.690 | 4.509.797 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN GALIAN/URUGAN TANAH | | | | | | 32.849.297 |
| | II. PEKERJAAN PONDASI | | | | | |
| 1 | Basement | | | | | |
| | Balok pondasi 700 x 1000 | m ³ | 7,84 | 6.029.766 | 47.273.371 | |
| | Pondasi <i>continous footing</i> lebar 2,5 m | m ³ | 113,12 | 10.818.973 | 1.223.842.264 | |
| | Lantai kerja <i>continous footing</i> lebar 2,7 m tebal 7 cm | m ³ | 78,4 | 750.520 | 58.840.768 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN PONDASI | | | | | | 1.329.956.404 |
| TOTAL BIAYA PEKERJAAN PONDASI CONTINUOUS FOOTING | | | | | | 1.362.805.701 |

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada desain alternatif pondasi ketiga (as 2-B sampai 11-B) ditunjukkan pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 RAB Pondasi Gabungan

| No | Jenis Pekerjaan | Sat. | Vol. | Harga Satuan | Jumlah | Sub Total |
|---|--|----------------|--------|--------------|-------------|--------------------|
| I. PEKERJAAN TANAH | | | | | | |
| 1 | Galian tanah pondasi gabungan | m ³ | 256,5 | 80.970 | 20.768.805 | |
| 2 | Urugan tanah kembali pondasi gabungan | m ³ | 167,96 | 19.690 | 3.307.132 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN GALIAN/URUGAN TANAH | | | | | | 24.075.937 |
| II. PEKERJAAN PONDASI | | | | | | |
| 1 | Basement | | | | | |
| | Balok pondasi 700 x 1000 | m ³ | 5,32 | 5.206.925 | 27.700.844 | |
| | Pondasi pondasi gabungan lebar 2,7 m | m ³ | 83,22 | 8.257.498 | 687.198.029 | |
| | Lantai kerja pondasi gabungan lebar 2,9 m tebal 7 cm | m ³ | 14,364 | 750.520 | 10.780.469 | |
| SUB JUMLAH PEKERJAAN PONDASI | | | | | | 725.670.343 |
| TOTAL BIAYA PEKERJAAN PONDASI GABUNGAN | | | | | | 749.746.280 |

Berdasarkan Tabel 5.10 hingga Tabel 5.13 di atas, perbandingan biaya desain *existing* dan alternatif pondasi disajikan dalam grafik berikut yang dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Biaya Desain Pondasi

Pada grafik tersebut menggambarkan bahwa *chart* berwarna merah menunjukkan nilai pekerjaan pondasi, sedangkan *chart* berwarna biru menunjukkan adanya potensi penghematan atau pemborosan biaya pekerjaan. Nilai penghematan ditunjukkan oleh *chart* yang berada di atas sumbu x, dan nilai pemborosan ditunjukkan oleh *chart* yang berada di bawah sumbu x.

5.3 Tahap Analisis

Tahap analisis berikut akan digunakan sebagai dasar pertimbangan pemilihan desain pondasi. Analisis tersebut akan diuraikan bertahap dari analisis keuntungan dan kerugian hingga analisis pembobotan.

5.3.1 Analisis Keuntungan dan Kerugian

Untuk memudahkan perhitungan analisis *value engineering* dalam memilih alternatif terbaik dapat dimunculkan kriteria-kriteria dari masing-masing item pondasi. Kriteria tersebut merupakan komponen dan aspek dalam pelaksanaan pekerjaan pondasi. Hal tersebut diuraikan dalam tabel keuntungan dan kerugian alternatif pekerjaan pondasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Keuntungan dan Kerugian Alternatif Pekerjaan Pondasi

| No. | Alternatif | Keuntungan | Kerugian |
|-----|------------------------------|--|---|
| 1 | <i>Footplate</i> 3,5 x 3,5 m | Didapatkan biaya pekerjaan yang lebih sedikit dari pondasi lainnya, dan daya dukung pondasi cukup kuat. | Metode pelaksanaan pengecoran dilakukan bertahap (dicor satu-satu). |
| 2 | <i>Footplate</i> 3,2 x 3,2 m | Didapatkan biaya pekerjaan yang paling sedikit dari pondasi lainnya, dan daya dukung pondasi cukup kuat. | Metode pelaksanaan pengecoran dilakukan bertahap (dicor satu-satu). |
| 3 | Pondasi menerus | Daya dukung pondasi paling besar dari pondasi yang lainnya. Karena beban struktur didistribusikan secara baik oleh pondasi tersebut. | Tidak dapat digunakan pada pondasi yang mempunyai jarak antar kolom terlalu panjang (hanya direkomendasikan apabila jarak antar kolom dekat), karena akan mempengaruhi biaya. |

Lanjutan Tabel 5.16 Keuntungan dan Kerugian Alternatif Pekerjaan Pondasi

| | | | |
|---|------------------|--|--|
| 4 | Pondasi gabungan | Daya dukung pondasi lebih besar dari pondasi yang lainnya. | Direkomendasikan untuk struktur dengan jarak antar kolom yang dekat, walaupun masih memungkinkan untuk diaplikasikan namun akan mempengaruhi biaya pekerjaan yang besar. |
|---|------------------|--|--|

Untuk analisis selanjutnya, pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m disebut sebagai Alternatif A, pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m disebut sebagai Alternatif B, pondasi menerus disebut sebagai Alternatif C, dan pondasi gabungan disebut sebagai Alternatif D.

5.3.2 Analisis Fungsi Pekerjaan

Analisis fungsi pekerjaan dilakukan untuk mengetahui alternatif pondasi yang mempunyai potensi penghematan. Analisis fungsi pekerjaan pondasi dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Analisis Fungsi Pekerjaan Pondasi

| No | Uraian | Function | | | Cost (Rp) | Worth 1 (Rp) | Worth 2 (Rp) | Worth 3 (Rp) | Worth 4 (Rp) | Comment |
|------------|---------|----------|-------|------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------|
| | | Verb | Noun | Kind | | | | | | |
| 1 | Pondasi | Menahan | Tekan | P | 394.181.027 | 394.181.027 | 331.088.792 | 1.362.805.701 | 749.746.280 | VE |
| Efisiensi | | | | | | | | | | |
| Cost/Worth | | | | | | | | | | |

Keterangan:

1. Untuk kolom *cost* nilainya didapat pada pekerjaan *existing*. Untuk kolom *worth 1* nilainya didapat dari biaya pekerjaan alternatif A, sedangkan kolom *worth 2* nilainya didapat dari pekerjaan alternatif B, dan seterusnya.
2. Nilai $cost/worth 1 = Rp\ 394.181.027 / Rp\ 394.181.027 = 1$
3. Nilai $cost/worth 2 = Rp\ 394.181.027 / Rp\ 331.088.792 = 1,190$
4. Nilai $cost/worth 3 = Rp\ 394.181.027 / Rp\ 1.362.805.701 = 0,289$
5. Nilai $cost/worth 4 = Rp\ 394.181.027 / Rp\ 749.746.280 = 0,526$
6. Nilai *cost/worth* yang bernilai lebih dari 1 diatas berarti menunjukkan adanya penghematan, sedangkan yang bernilai kurang dari 1 menunjukkan bahwa biaya alternatif lebih besar dari biaya *existing*.

5.3.3 Analisis Rangking

Analisis rangking diperhitungkan berdasarkan kriteria-kriteria untuk analisis *value engineering*. Kriteria-kriteria (parameter) tersebut diantaranya adalah biaya, daya dukung pondasi, waktu pelaksanaan, kemungkinan implementasi, tingkat kesulitan, dan sarana kerja (peralatan).

Penilaian tingkat urutan pentingnya parameter tersebut digunakan data yang telah dihitung oleh Abma (2015). Abma (2015) melakukan penelitian serupa tentang *value engineering* pada pekerjaan pondasi. Penilaian tingkat pentingnya parameter dalam *value engineering* oleh Abma (2015) dilakukan secara subyektif dari para ahli atau praktisi dibidangnya dengan kuesioner. Para ahli atau praktisi terdiri dari 10 orang dengan keahlian dan tingkat pengalaman yang berbeda-beda.

Penilaian tingkat pentingnya parameter dalam *value engineering* oleh Abma (2015) telah diuji kesahihannya dengan menggunakan uji konsistensi data dan dihasilkan nilai CR (*Consistency Ratio* / Rasio Konsistensi) sebesar 0,00045. Nilai tersebut kurang dari yang dipersyaratkan, yaitu 0,1 sehingga dapat dikatakan bahwa data tersebut konsisten.

Dari data tersebut di atas, sehingga dihasilkan bobot untuk masing-masing kriteria yang telah dihitung Abma (2015) adalah sebagai berikut pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Penilaian Bobot Sementara

| No. | Fungsi | Angka Rangking | Bobot |
|-----------------|-------------------------------|----------------|----------|
| 1 | Daya dukung (I) | 6 | 28,400% |
| 2 | Biaya (II) | 5 | 21,800% |
| 3 | Waktu Pelaksanaan (III) | 4 | 16,600% |
| 4 | Kemungkinan implementasi (IV) | 3 | 15,200% |
| 5 | Tingkat kesulitan (V) | 2 | 12,300% |
| 6 | Sarana kerja / peralatan (VI) | 1 | 5,700% |
| Jumlah rangking | | 21 | 100,000% |

Setelah diperoleh nilai bobot maka dilakukan analisis dengan metode *zero-one* untuk semua kriteria.

5.3.4 Metode *Zero-One*

Pada metode *zero-one* ini dilakukan analisis untuk semua kriteria dengan dimunculkan preferensi sebagai acuan penting dan kurang penting pada masing-masing alternatif.

Preferensi alternatif untuk kriteria daya dukung (I) adalah sebagai berikut.

| Alternatif | Preferensi | | | Keterangan |
|------------|------------|---------|---------|---|
| Alt. A | $A > B$ | $A < C$ | $A > D$ | Alt. A lebih unggul dari Alt. B & D, Alt. A kurang unggul dari Alt. C |
| Alt. B | $B < A$ | $B < C$ | $B > D$ | Alt. B kurang unggul dari Alt. A, C, Alt. B lebih unggul dari Alt. D |
| Alt. C | $C > A$ | $C > B$ | $C > D$ | Alt. C lebih unggul dari Alt. A, B, & D |
| Alt. D | $D < A$ | $D < B$ | $D < C$ | Alt. D kurang unggul dari Alt. A, B & C |

Berdasarkan preferensi di atas, penilaian dengan metode *zero-one* terhadap fungsi I disajikan dalam Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Penilaian dengan *Zero-One* terhadap Fungsi I

| Alternatif | A | B | C | D | Jumlah | Indeks |
|------------|---|---|---|---|--------|--------|
| A | X | 1 | 0 | 1 | 2 | 1/3 |
| B | 0 | X | 0 | 0 | 1 | 1/6 |
| C | 1 | 1 | X | 1 | 3 | 1/2 |
| D | 0 | 0 | 0 | X | 0 | 0 |
| Jumlah | | | | | 6 | 1 |

Preferensi alternatif untuk kriteria biaya (II) adalah sebagai berikut.

| Alternatif | Preferensi | | | Keterangan |
|------------|------------|---------|---------|---|
| Alt. A | $A < B$ | $A > C$ | $A > D$ | Alt. A kurang unggul dari Alt. B, Alt. A lebih unggul dari Alt. C & D |
| Alt. B | $B > A$ | $B > C$ | $B > D$ | Alt. B lebih unggul dari Alt. A, C, & D |
| Alt. C | $C < A$ | $C < B$ | $C < D$ | Alt. C kurang unggul dari Alt. A, B, & D |
| Alt. D | $D < A$ | $D < B$ | $D > C$ | Alt. D kurang unggul dari Alt. A & B, Alt. D lebih unggul dari Alt. C |

Berdasarkan preferensi di atas, penilaian dengan metode *zero-one* terhadap fungsi II disajikan dalam Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Penilaian dengan *Zero-One* terhadap Fungsi II

| Alternatif | A | B | C | D | Jumlah | Indeks |
|------------|---|---|---|---|--------|--------|
| A | X | 0 | 1 | 1 | 2 | 1/3 |
| B | 1 | X | 1 | 1 | 3 | 1/2 |
| C | 0 | 0 | X | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 1 | X | 1 | 1/6 |
| Jumlah | | | | | 6 | 1 |

Preferensi alternatif untuk kriteria waktu pelaksanaan (III) adalah sebagai berikut.

| Alternatif | Preferensi | | | Keterangan |
|------------|------------|-------|-------|---|
| Alt. A | A = B | A > C | A > D | Alt. A sama unggul dengan Alt. B, Alt. A lebih unggul dari Alt. C & D |
| Alt. B | B = A | B > C | B > D | Alt. B sama unggul dengan Alt. A, Alt. B lebih unggul dari Alt. C & D |
| Alt. C | C < A | C < B | C < D | Alt. C kurang unggul dari Alt. A, Alt. B, dan Alt. D |
| Alt. D | D < A | D < B | D > C | Alt. D kurang unggul dari Alt. A & B, Alt. D lebih unggul dari C |

Berdasarkan preferensi di atas, penilaian dengan metode *zero-one* terhadap fungsi III disajikan dalam Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Penilaian dengan *Zero-One* terhadap Fungsi III

| Alternatif | A | B | C | D | Jumlah | Indeks |
|------------|---|---|---|---|--------|--------|
| A | X | 1 | 1 | 1 | 3 | 3/7 |
| B | 1 | X | 1 | 1 | 3 | 3/7 |
| C | 0 | 0 | X | 0 | 1 | 0 |
| D | 0 | 0 | 1 | X | 1 | 1/7 |
| Jumlah | | | | | 8 | 1 |

Preferensi alternatif untuk kriteria kemungkinan implementasi (IV) adalah sebagai berikut.

| Alternatif | Preferensi | | | Keterangan |
|------------|------------|---------|---------|--|
| Alt. A | $A = B$ | $A > C$ | $A > D$ | Alt. A sama unggul dengan Alt. B, Alt. A lebih baik dari Alt. C & D |
| Alt. B | $B = A$ | $B > C$ | $B > D$ | Alt. B sama unggul dengan Alt. A, Alt. B lebih baik dari Alt. C & D |
| Alt. C | $C < A$ | $C < B$ | $C = D$ | Alt. C kurang unggul dari Alt. A & B, Alt. C sama unggul dengan Alt. D |
| Alt. D | $D < A$ | $D < B$ | $D = C$ | Alt. D kurang unggul dari Alt. A & B, Alt. D sama unggul dengan Alt. C |

Berdasarkan preferensi di atas, penilaian dengan metode *zero-one* terhadap fungsi IV disajikan dalam Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.22 Penilaian dengan *Zero-One* terhadap Fungsi IV

| Alternatif | A | B | C | D | Jumlah | Indeks |
|------------|---|---|---|---|--------|--------|
| A | X | 1 | 1 | 1 | 3 | 3/8 |
| B | 1 | X | 1 | 1 | 3 | 3/8 |
| C | 0 | 0 | X | 1 | 1 | 1/8 |
| D | 0 | 0 | 1 | X | 1 | 1/8 |
| Jumlah | | | | | 8 | 1 |

Preferensi alternatif untuk kriteria tingkat kesulitan (V) adalah sebagai berikut.

| Alternatif | Preferensi | | | Keterangan |
|------------|------------|---------|---------|---|
| Alt. A | $A = B$ | $A > C$ | $A > D$ | Alt. A sama unggul dengan Alt. B, Alt. A lebih unggul dari Alt. C & D |
| Alt. B | $B = A$ | $B > C$ | $B > D$ | Alt. B sama unggul dengan Alt. A, Alt. B lebih unggul dari Alt. C & D |
| Alt. C | $C < A$ | $C < B$ | $C < D$ | Alt. C kurang unggul dari Alt. A, B, & D |
| Alt. D | $D < A$ | $D < B$ | $D > C$ | Alt. D kurang unggul dari Alt. B, Alt. D lebih unggul dari Alt. C |

Berdasarkan preferensi di atas, penilaian dengan metode *zero-one* terhadap fungsi V disajikan dalam Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.23 Penilaian dengan *Zero-One* terhadap Fungsi V

| Alternatif | A | B | C | D | Jumlah | Indeks |
|------------|---|---|---|---|--------|--------|
| A | X | 1 | 1 | 1 | 3 | 3/7 |
| B | 1 | X | 1 | 1 | 3 | 3/7 |
| C | 0 | 0 | X | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 1 | X | 1 | 1/7 |
| Jumlah | | | | | 7 | 1 |

Preferensi alternatif untuk kriteria sarana kerja (peralatan) (VI) adalah sebagai berikut.

| Alternatif | Preferensi | | | Keterangan |
|------------|------------|-------|-------|--|
| Alt. A | A = B | A < C | A < D | Alt. A sama unggul dengan Alt. B, Alt. A kurang unggul dari Alt. C & D |
| Alt. B | B = A | B < C | B < D | Alt. B sama unggul dengan Alt. A, Alt. B kurang unggul dari Alt. C & D |
| Alt. C | C > A | C > B | C = D | Alt. C lebih unggul dari Alt. A & B, Alt. C sama unggul dari Alt. D |
| Alt. D | D > A | D > B | D = C | Alt. D lebih unggul dari Alt. A & B, Alt. D sama unggul dengan Alt. C |

Berdasarkan preferensi di atas, penilaian dengan metode *zero-one* terhadap fungsi VI disajikan dalam Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5.24 Penilaian dengan *Zero-One* terhadap Fungsi VI

| Alternatif | A | B | C | D | Jumlah | Indeks |
|------------|---|---|---|---|--------|--------|
| A | X | 1 | 0 | 0 | 1 | 1/8 |
| B | 1 | X | 0 | 0 | 1 | 1/8 |
| C | 1 | 1 | X | 1 | 3 | 3/8 |
| D | 1 | 1 | 1 | X | 3 | 3/8 |
| Jumlah | | | | | 8 | 1 |

5.3.5 Pembobotan

Setelah dilakukan analisis menggunakan metode *zero-one*, kemudian dilakukan pembobotan dengan matriks evaluasi sebagai alat pengambilan keputusan yang dapat menggabungkan kriteria kualitatif (tak dapat diukur) dan kriteria kuantitatif (dapat diukur). Kriteria-kriteria tersebut adalah berdasarkan kriteria yang digunakan dalam analisis metode *zero-one*. Matriks evaluasi untuk pembobotan dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Matriks Evaluasi Metode Zero-One

| No. | Alternatif | Kriteria | | | | | | Total (%) | Ket. |
|-----|------------|----------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|--------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | | |
| | | 28,40 | 21,80 | 16,60 | 15,20 | 12,30 | 5,70 | | |
| 1 | Alt. A | 1/3 | 1/3 | 3/7 | 3/8 | 3/7 | 1/8 | 35,53 | indeks |
| | | 9,47 | 7,27 | 7,11 | 5,70 | 5,27 | 0,71 | | bobot |
| 2 | Alt. B | 1/6 | 1/2 | 3/7 | 3/8 | 3/7 | 1/8 | 34,43 | indeks |
| | | 4,73 | 10,90 | 7,11 | 5,70 | 5,27 | 0,71 | | bobot |
| 3 | Alt. C | 1/2 | 0 | 0 | 1/8 | 0 | 3/8 | 18,24 | indeks |
| | | 14,20 | 0 | 0 | 1,90 | 0 | 2,14 | | bobot |
| 4 | Alt. D | 0 | 1/6 | 1/7 | 1/8 | 1/7 | 3/8 | 11,80 | indeks |
| | | 0 | 3,63 | 2,37 | 1,90 | 1,76 | 2,14 | | bobot |

Keterangan:

1. Alternatif A adalah desain *existing*, alternatif B adalah desain usulan 1 (*footplate* 3,2 x3,2 m), alternatif C adalah desain usulan 2 (*continous footing*), dan alternatif D adalah desain usulan 3 (pondasi gabungan).
2. Pemberian nilai pada bobot adalah berdasarkan kepentingan kriteria pada Tabel 5.11, sedangkan indeks didapat dari Tabel 5.12 sampai Tabel 5.17.
3. Bobot untuk setiap kriteria didapat dari perkalian antara bobot kepentingan dengan indeks, sedangkan bobot total didapat dari penjumlahan dari bobot setiap kriteria.

4. Untuk memilih desain alternatif pondasi dilihat berdasarkan item yang memiliki nilai bobot total terbesar pada Tabel 5.18 dan dipilih 2 item dengan bobot terbesar sebagai pembanding.

5.3.6 Perhitungan Biaya Siklus Hidup

Tahapan selanjutnya adalah menganalisis biaya berdasarkan siklus hidup. Perhitungan biaya siklus hidup diperlukan faktor-faktor sebagai dasar perhitungannya. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut.

1. Biaya awal

Biaya awal pada kajian ini adalah biaya total desain pondasi awal sesuai kontrak dan desain alternatif sesuai Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang sudah diperhitungkan. Biaya awal dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5.26 Biaya Awal Desain Pondasi

| | Pondasi <i>Footplate</i> 3,5 x 3,5 m | Pondasi <i>Footplate</i> 3,2 x 3,2 m |
|------------|---|---|
| | Alternatif A | Alternatif B |
| Biaya Awal | Rp 394.181.027,46 | Rp 331.088.792,17 |

2. Biaya pemeliharaan

Faktor biaya pemeliharaan pada studi ini dianggap Rp 0- karena pada pondasi tidak memerlukan pemeliharaan struktur, sehingga komponen biaya ini dianggap tidak ada (Rp 0-).

3. Umur konstruksi (umur pakai)

Pada studi ini struktur diasumsikan mempunyai umur konstruksi sampai umur 25 tahun.

4. Nilai sisa (jika ada)

Nilai sisa pada struktur pondasi diasumsikan 0% dari nilai awal. Pondasi tidak mempunyai nilai jual untuk instalasi kembali, sehingga dianggap tidak mempunyai nilai sisa.

Selanjutnya dilakukan perhitungan besar penghematan terhadap biaya awal (*initial cost*). Pondasi yang dilakukan perhitungan penghematan adalah pondasi alternatif B, karena alternatif A adalah pondasi desain awal sesuai kontrak.

$$\begin{aligned} \text{Besar penghematan } \textit{initial cost} &= \text{Rp } 394.181.027,46 - \text{Rp } 331.088.792,17 \\ &= \text{Rp } 63.092.235,29. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase penghematan } \textit{initial cost} &= \frac{\text{Rp } 63.092.235,29}{\text{Rp } 394.181.027,46} \times 100 \% \\ &= 16 \%. \end{aligned}$$

Besar potensi penghematan yang terjadi pada pondasi alternatif B adalah sebesar 16 % dari biaya pondasi desain awal (sesuai kontrak).

5.4 Tahap Rekomendasi

Pada tahap rekomendasi disajikan secara lengkap hasil analisis *value engineering* meliputi keunggulan atau kelebihan konsep dari usulan desain baru. Data-data yang disampaikan adalah desain pondasi alternatif terbaik, hasil desain (struktur pondasi), dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan pondasi. Tahap ini bertujuan untuk meyakinkan *owner* dan menjadi dasar pertimbangan yang kuat untuk pengambilan keputusan bahwa alternatif desain yang diusulkan merupakan alternatif desain terbaik.

Berdasarkan Tabel 5.18, dua item desain yang mempunyai bobot terbesar adalah pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m dan pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m. Tahap rekomendasi disajikan hasil analisis *value engineering* meliputi keunggulan konsep dari usulan desain alternatif.

Desain alternatif A mempunyai keunggulan daya dukung yang lebih baik dari desain alternatif B dan mempunyai bobot yang lebih banyak dari alternatif B, sedangkan desain alternatif B mempunyai keunggulan biaya yang lebih hemat dari alternatif A. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka pondasi yang direkomendasikan untuk proyek proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII adalah tetap menggunakan pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m dengan biaya Rp 394.181.027,46.

5.5 Tahap Penyajian

Tahapan terakhir studi ini adalah tahap penyajian terhadap hasil dari analisis *value engineering* yang telah dibahas pada subbab sebelumnya untuk pengambilan keputusan. Tahap penyajian dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5.27 Penyajian *Value Engineering*

| | | |
|--|--|----------------|
| Proyek : Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII | TAHAP PENYAJIAN VALUE ENGINEERING | |
| Lokasi : Jln. Kaliurang KM 14,5 Umbulmartani, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta | ITEM : PONDASI | NO : 01 |
| <i>Client</i> : Badan Wakaf UII | | |
| <p>Konsep Usulan (<i>Proposed Concept</i>)</p> <p>Konsep dari desain pondasi yang asli atau konsep awal menggunakan desain pondasi dangkal dengan jenis pondasi <i>footplate</i> 3,5 x 3,5 m. Alternatif-alternatif desain pondasi yang diusulkan adalah pondasi <i>footplate</i> 3,2 x 3,2 m, pondasi menerus, dan pondasi gabungan.</p> <p>Usulan Perubahan (<i>Proposed Change</i>)</p> <p>Setelah dilakukan analisis <i>value engineering</i>, pada desain pondasi proyek proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII tidak ada usulan/rekomendasi perubahan. Atau dengan kata lain tetap menggunakan pondasi <i>footplate</i> 3,5 x 3,5 meter. Tulangan lentur arah x dan y yang dipakai adalah 16 D – 100, dan tulangan susut yang dipakai adalah 10 D – 100. Biaya pekerjaan pondasi pada as 2-B sampai 11-B adalah sebesar Rp 394.181.027,46.</p> <p>Diskusi (<i>Discussion</i>)</p> <p>Hasil analisis yang telah dilakukan, pondasi <i>footplate</i> 3,5 x 3,5 meter mempunyai bobot terbesar yaitu 35,53 % dari alternatif pondasi lainnya walaupun dari segi biaya bukanlah yang mempunyai biaya paling sedikit, atau selisih 16 % dari biaya alternatif pondasi yang termurah (alternatif B).</p> | | |

5.6 Pembahasan

Ide-ide kreatif yang telah dikemukakan pada tahap kreatif didapatkan alternatif-alternatif desain pondasi yang memungkinkan diterapkan atau diimplementasikan. Alternatif desain tersebut adalah *footplate* 3,5 x 3,5 m, *footplate* 3,2 x 3,2 m, pondasi menerus, dan pondasi gabungan.

Setelah dilakukan desain terhadap pondasi, dapat diketahui bahwa alternatif-alternatif desain tersebut dinyatakan aman. Hasil perbandingan daya dukung pondasi alternatif-alternatif desain tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.28 berikut.

Tabel 5.28 Perbandingan Daya Dukung Pondasi

| Pondasi | <i>Footplate</i> 3,5 x 3,5 m | <i>Footplate</i> 3,2 x 3,2 m | Pondasi Menerus | Pondasi Gabungan |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| Daya Dukung (Ton) | 727,51 | 628,21 | 731,79 | 604,76 |
| Keterangan | Aman | Aman | Aman | Aman |

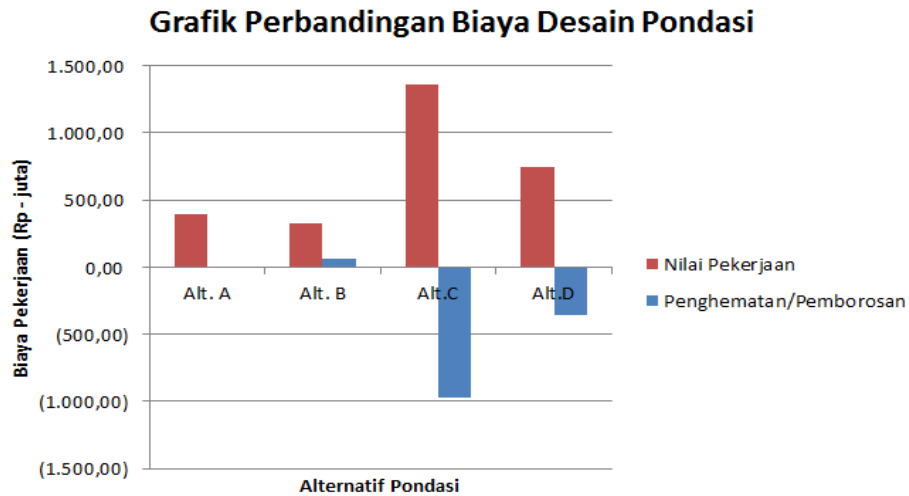
Desain *existing* dan desain alternatif tersebut di atas dapat dinyatakan aman, karena kapasitas dukungnya memenuhi untuk beban aksial sebesar 493,434 Ton. Pondasi yang mempunyai daya dukung paling besar adalah pondasi menerus, sedangkan pondasi gabungan mempunyai daya dukung yang paling kecil.

Pada perhitungan Rencana Anggaran Biaya pekerjaan pondasi hanya memperhitungkan *direct cost* (biaya material, upah tenaga, dan alat). Perbandingan biaya alternatif-alternatif desain ditunjukkan pada Tabel 5.29 berikut.

Tabel 5.29 Perbandingan Biaya Pondasi

| Pondasi | <i>Footplate</i> 3,5 x 3,5 m | <i>Footplate</i> 3,2 x 3,2 m | Pondasi Menerus | Pondasi Gabungan |
|------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| Biaya (Rp) | 394.181.027 | 331.088.792 | 1.362.805.701 | 749.746.280 |

Tabel 5.28 tersebut menunjukkan bahwa pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m adalah pondasi yang paling murah, sedangkan pondasi menerus adalah pondasi yang paling mahal. Grafik perbandingan biaya desain pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Biaya Desain Pondasi

Grafik tersebut menunjukkan bahwa terdapat potensi penghematan apabila *chart* berwarna biru mengarah ke atas, sedangkan terdapat potensi pemborosan apabila *chart* berwarna biru mengarah ke bawah. *Chart* berwarna merah adalah nilai pekerjaan atau biaya desain pondasi. Alternatif A adalah desain *existing*, sehingga tidak dapat dikatakan mempunyai potensi penghematan atau pemborosan. Desain alternatif yang mempunyai potensi penghematan adalah alternatif B, sedangkan desain alternatif yang mempunyai potensi pemborosan adalah alternatif C dan alternatif D.

Selain grafik tersebut, untuk mengetahui alternatif desain pondasi yang mempunyai potensi penghematan dapat dilakukan dengan analisis fungsi pekerjaan yang telah diuraikan pada subbab analisis fungsi pekerjaan (Tabel 5.17). Alternatif desain yang mempunyai potensi penghematan dengan nilai *cost/worth* lebih dari 1 adalah alternatif A dengan nilai 1 dan alternatif B dengan nilai 1,190. Berdasarkan analisis perbandingan biaya alternatif desain, yang menjadi pertimbangan dalam rekomendasi adalah alternatif yang memenuhi fungsi dan biaya. Alternatif desain tersebut adalah alternatif A dan alternatif B.

Pada matriks evaluasi diperoleh 2 item desain alternatif dengan bobot tertinggi pada pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m dan pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m. Berdasarkan hasil analisis dengan metode *zero-one*, pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m

diperoleh bobot total sebesar 35,53 % dan untuk pondasi *footplate* 3 x 3 m diperoleh bobot total sebesar 34,43 %. Kedua item memiliki selisih bobot sebesar 1,10 %.

Nilai pekerjaan (biaya) kedua item desain yaitu sebesar Rp 394.181.027,46 untuk pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m dan Rp 331.088.792,17 untuk pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m. Pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m mempunyai potensi penghematan sebesar Rp 63.092.235,29 dibandingkan dengan pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m atau sebesar 16 %.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, apabila faktor daya dukung lebih dipertimbangkan daripada faktor biaya maka pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m adalah pondasi yang direkomendasikan. Namun apabila faktor biaya lebih dipertimbangkan maka pondasi *footplate* 3,2 x 3,2 m adalah pondasi yang direkomendasikan.

Berdasarkan kajian tersebut, karena kedua pondasi sama-sama mempunyai perbandingan yang cukup setara pada pertimbangan masing-masing parameter dan pada penilaian bobot sementara (pada perhitungan Abma, 2015) kriteria daya dukung lebih unggul daripada kriteria biaya, maka digunakannya pondasi *footplate* 3,5 x 3,5 m pada proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum Kampus Terpadu UII adalah rekomendasi yang tepat setelah dilakukan analisis *value engineering*.

Dalam fase penentuan desain mana yang akan digunakan, perencana juga sudah mempertimbangkan alasan mengapa desain tersebut yang digunakan. Penentuan desain tersebut disebut dengan *engineering judgement*. Faktor yang mempengaruhi *engineering judgement* salah satunya adalah faktor pengalaman perencana dalam mendesain struktur. Perencana yang sudah mempunyai pengalaman banyak dalam mendesain struktur biasanya mempunyai standar-standar tertentu dalam menentukan desain. Penentuan desain tersebut juga tentunya relevan dengan proyek-proyek yang telah didesain.

