

INFRASTRUKTUR

PERENCANAAN ALTERNATIF PONDASI KONSTRUKSI SARANG LABA-LABA PADA PALU GRAND MALL

Alternative Design of Spider Web Construction Foundation in Palu Grand Mall

Dwi Magfira,

Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : luv_mefirha@yahoo.co.id

Arifin B., dan Astri Rayahu

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : arifinc132230548@yahoo.com

ABSTRACT

Palu Grand Mall located at Diponegoro street, West Palu districts, Central Sulawesi using foundation Konstruksi Sarang Laba-Laba(KSSL). TheKonstruksi Sarang Laba-Laba is a combination of continuous flat concrete slab foundation system with a soil improvement system. This system is specifically utilizes the ground as part of the foundation structure. The purpose of thisresearchare to redesign KSSL foundation that is qualified for $q_{gross} \leq q_{ijin}$. Parameters that used are sondir test results, borlog, as well as laboratory testing such as bulk density and coefficient of consolidation (Cv). The analysis begins with the soil classification, load analysis using SAP. Then calculate the bearing capacity of the foundation, the maximum soil stress, potential settlement, equivalent thickness, KSSL reinforcement dimensions, and RAB in Palu Grand Mall. Based on CPT test results on the location it was obtained that the soil classification is clay for soil at the depth of 0-12 m, clayey silt for soil at the depth 12-15 m and gravelly sand at a depth of 15-20 m. The results obtained from SAP is 356.80 ton for the maximum load. For one segment with a size of 8 mx 8 m the foundation bearing capacity was 335.54 ton/ m². Calculation of the area of load distribution which is reviewed each segment was 11.599m² for construction rib and 11.034 m² for rib settlement. Control of q_{gross} and q_{all} are met, which a rib construction is $q_{gross} 30.762 \text{ t/m}^2 < q_{all} 335.545 \text{ t/m}^2$ and rib settlement $q_{gross} 32.337 \text{ t/m}^2 < q_{all} 335.545 \text{ t/m}^2$. From the calculation it was obtained that the maximum soil stress are 3,613 t/m², the potential settlement 4,256 cm for a period of 12 years. Equivalent thickness of rib construction is 125 cm and 170 cm for rib settlement. The reinforcement in the rib construction and rib settlement are using the size of Ø10-15 cm (As = 471 mm²) on the condition $p_{min} < \rho < p_{max}$. The budget plan calculation results showed that for earthwork the budget is Rp. 13,948,320 and Rp. 130.620.019,77 for KSSL foundation work per segment

Keywords: bearing capacity, settlement, foundations, konstruksi sarang laba-laba.

ABSTRAK

Palu Grand Mall yang berlokasi di Jalan Diponegoro Kecamatan Palu Barat Sulawesi Tengah menggunakan Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL). Konstruksi Sarang Laba-Laba merupakan kombinasi dari sistem pondasi pelat beton pipih menerus dengan sistem perbaikan tanah. Sistem ini secara spesifik memanfaatkan tanah sebagai bagian dari struktur pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain kembali pondasi KSSL yang memenuhi $q_{ytd} \leq q_{ijin}$. Parameter yang digunakan adalah dari hasil uji sondir dan uji laboratorium seperti kerapatan butir dan koefisien konsolidasi (Cv). Analisis dimulai dari menentukan klasifikasi tanah dan analisis beban menggunakan program SAP. Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas dukung pondasi, tegangan tanah maksimum, penurunan potensial, ketebalan ekuivalen, dimensi kekuatan KSSL dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) di Palu Grand Mall. Berdasarkan hasil uji CPT di lokasi ditentukan bahwa tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung pada kedalaman 0-12 m, lanau berlempung pada kedalaman 12-1 meter dan pasir berkerikil pada kedalaman 1-20 m. Hasil analisis SAP adalah bahwa beban maksimum sebesar 356,80 ton. Pada segmen dengan ukuran 8 m x 8 m kapasitas dukung pondasi sebesar 335,54 ton/ m². Perhitungan luas penyebaran beban yang ditinjau per segmen adalah 11,599m² untuk konstruksi rib dan 11,034 m² untuk rib settlement. Kontrol terhadap q_{gross} and q_{all} sudah terpenuhi dimana untuk konstruksi rib adalah $q_{gross} 30.762 \text{ t/m}^2 < q_{all} 335.545 \text{ t/m}^2$ dan rib settlement $q_{gross} 32.337 \text{ t/m}^2 < q_{all} 335.545 \text{ t/m}^2$. Dari perhitungan dapat ditentukan bahwa tegangan tanah maksimum adalah 3,613 t/m², penurunan potensial 4,256 cm untuk periode 12 tahun. Ketebalan ekuivalen konstruksi rib adalah 125 cm dan 170 cm untuk rib settlement. Kekuatan pada konstruksi rib dan rib settlement adalah menggunakan ukuran Ø10-15 cm (As = 471 mm²) pada kondisi $p_{min} < \rho < p_{max}$. Perhitungan rencana anggaran biaya menunjukkan bahwa untuk pekerjaan tanah memerlukan anggaran Rp. 13,948,320 dan Rp. 130.620.019,77 untuk pekerjaan pondasi KSSL per segmen.

Kata kunci : daya dukung, penurunan, pondasi, konstruksi sarang laba-laba

PENDAHULUAN

Penelitian ini membahas tentang perencanaan pondasi dengan menggunakan sistem Pondasi Sarang Laba-Laba dalam pembangunan Palu Grand Mall. Sistem pondasi ini, yang sering disingkat dengan KSSL diciptakan oleh Ir. Ryantori dan Ir. Sucipto pada tahun 1976 dengan mendapatkan hak paten pondasi No. 7191, di mana hak patennya dimiliki oleh PT. Dasagama Indonesia (Asiyanto, 2009).

Pondasi ini sendiri mulai diterapkan di proyek-proyek pada tahun 1978. Dan pengembangnya diperbaharui tahun 2004 dengan nomor paten lisensi dan sekaligus pelaksana khusus KSSL dipegang oleh PT. Katama Suryabumi (Arsip IPTEK, 2011). Sampai saat ini telah digunakan lebih 960 bangunan. Pondasi ini merupakan pondasi dangkal konvensional, yaitu merupakan kombinasi antara sistem pondasi pelat beton pipih menerus dengan sistem perbaikan tanah. Kespesifikan sistem ini adalah memanfaatkan tanah sebagai bagian dari struktur pondasi.

Untuk Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba ini cocok digunakan di daerah yang rawan gempa, seperti kota Palu. Seperti yang kita ketahui kota Palu ini merupakan wilayah gempa ke 4 pada pembagian wilayah gempa untuk Indonesia.

Sesuai dengan data tanah yang diperoleh dari hasil pengujian di lapangan yang berlokasi di area pembangunan Palu Grand Mall yaitu uji sondir yang dilakukan sebanyak 4 titik dan uji bor log di 2 titik serta hasil pengujian Laboratorium, jenis tanah di lokasi pembangunan Palu Grand Mall sangat cocok menggunakan Pondasi Sarang Laba-Laba.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

- Melakukan analisis terhadap keamanan pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) dilihat dari jenis tanah, pembebanan pada Palu Grand Mall, daya dukung pondasi, besarnya tegangan tanah maksimum, potensi penurunan yang terjadi pada Palu Grand Mall serta tebal ekuivalen pada pondasi KSSL meliputi dimensi rib dan penulangan KSSL.
- Merencanakan pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba yang memenuhi syarat keamanan berdasarkan dimensi pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba yang memenuhi, yaitu dengan ketentuan $q_{ytd} \leq q_{izin}$.

a. Konstruksi Sarang Laba-Laba

Pondasi KSSL merupakan kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi plat beton pipih menerus yang di bawahnya dilakukan oleh rib-rib

tegak yang pipih tinggi dan sistem perbaikan tanah di antara rib-rib. Kombinasi ini menghasilkan kerja sama timbal balik yang saling menguntungkan sehingga membentuk sebuah pondasi yang memiliki kekakuan (*rigidity*) jauh lebih tinggi dibandingkan sistem pondasi dangkal lainnya. Dinamakan sarang laba-laba karena pembesian plat pondasi di daerah kolom selalu berbentuk sarang laba-laba. Juga bentuk jaringannya yang tarik-menarik bersifat monolit yaitu berada dalam satu kesatuan. Konstruksi Sarang Laba-Laba terdiri dari 2 bagian konstruksi, yaitu :

1) Konstruksi Beton

- Konstruksi beton pondasi KSSL berupa pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang pipih tetapi tinggi.
- Ditinjau dari segi fungsinya, rib-rib tersebut ada 3 macam yaitu rib konstruksi, rib settlement dan rib pembagi.
- Bentuknya bisa digambarkan sebagai kotak rak sasa yang terbalik (menghadap ke bawah).
- Penempatan/susunan rib-rib tersebut sedemikian rupa, sehingga denah atas membentuk petak-petak segitiga dengan hubungan yang kaku (*rigid*).



Gambar 1. Konstruksi sarang laba-laba

Keterangan : 1) Rib Settlement, 2) Rib Pembagi, 3) Rib Konstruksi

2) Perbaikan tanah/pasir

- Rongga yang ada diantara rib-rib / di bawah pelat diisi dengan lapisan tanah/pasir yang memungkinkan untuk dipadatkan dengan sempurna.
- Untuk memperoleh hasil yang optimal, maka pemadatan dilaksanakan lapis demi lapis dengan tebal tiap lapis tidak lebih dari 25 cm, sedangkan pada umumnya 2 atau 3 lapis teratas harus melampaui batas 90% atau 95%

kepadatan maksimum (*sandcone*). Adanya perbaikan tanah yang dipadatkan dengan baik tersebut dapat membentuk lapisan tanah seperti lapisan batu karang sehingga bisa memperkecil dimensi pelat serta rib-ribnya. Sedangkan rib-rib serta pelat KSSL merupakan pelindung bagi perbaikan tanah yang sudah dipadatkan dengan baik.

Pada dasarnya pondasi KSSL bertujuan untuk memperkaku sistem pondasi itu sendiri dengan cara berinteraksi dengan tanah pendukungnya. Seperti diketahui bahwa jika pondasi semakin fleksibel, maka distribusi tegangan / stress tanah yang timbul akan semakin tidak merata, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku / rigid, maka distribusi tegangan/stress tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi. Dengan pondasi KSSL, karena mempunyai tingkat kekakuan yang lebih tinggi, maka penurunan yang terjadi akan merata karena masing-masing kolom dijepit dengan rib-rib beton yang saling mengunci.

Kelebihan-kelebihan pondasi KSSL adalah sebagai berikut : (Arsip Iptek, 2011).

- KSSL memiliki kekakuan yang lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*raft foundation*).
- KSSL memiliki kemampuan memperkecil *differential settlement* dan mengurangi *irregular differential settlement* apabila dibandingkan dengan pondasi rakit.
- KSSL mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi karena proses pematatannya akan meniadakan pengaruh lipatan atau *lateral buckling* pada rib.
- KSSL berpotensi untuk digunakan sebagai pondasi untuk bangunan bertingkat (2 lantai) yang dibangun di atas tanah lunak dengan mempertimbangkan *total settlement* yang mungkin terjadi.
- Pelaksananya tidak menggunakan alat-alat berat dan tidak mengganggu lingkungan sehingga cocok diterapkan baik di lokasi padat penduduk maupun di daerah terpencil.
- KSSL mampu menghemat penggunaan baja tulangan maupun beton.
- Waktu pelaksanaan yang diperlukan relatif lebih cepat dan dapat dilaksanakan secara padat karya.
- KSSL lebih ekonomis dibandingkan pondasi konvensional rakit atau tiang pancang, lebih-lebih dengan pondasi dalam, sehingga cocok digunakan oleh negara-negara sedang

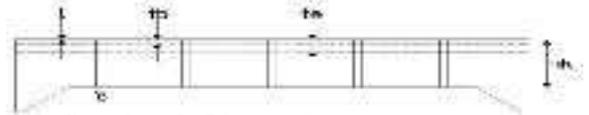
berkembang sebab murah, padat karya dan sederhana.

b. Keistimewaan Sistem Konstruksi Dan Bentuk Pondasi Sarang Laba-Laba

Keistimewaan pondasi KSSL dapat dilihat dari aspek teknis, ekonomi dan dari segi pelaksanaan.

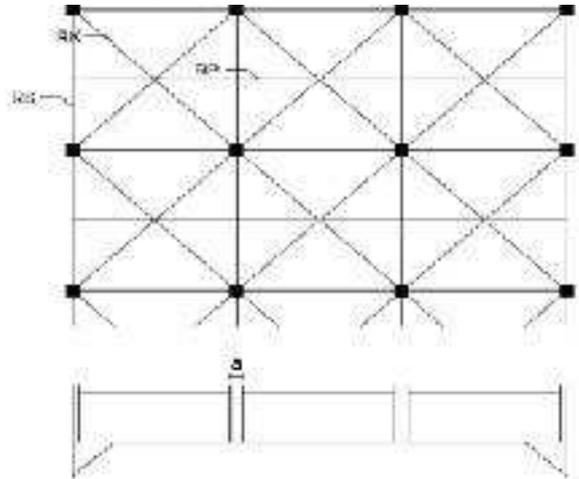
1) Aspek Teknis

- a) Pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib regak, pipih dan tinggi.



Gambar 2. Plat pipih menerus yang dikakukan oleh rib tegak, pipih dan tinggi di bawahnya

Keterangan : t = tebal plat, b = tebal rib, hk = tinggi rib, te = tebal ekuivalen, tb = tebal volume penggunaan beton untuk pondasi KSSL, seandainya dinyatakan sebagai pelat menerus tanpa rib.



Gambar 3. Tampak denah dan potongan pada Pondasi KSSL

Keterangan: RK = Rib Konstruksi, RS = Rib Settlement, RP= Rip Pembagi dan a = Kolom

- Rib konstruksi berfungsi sebagai penyebar beban dari struktur bangunan.
- Rib settlement berfungsi sebagai tumpuan utama beban bangunan.
- Rib pembagi berfungsi sebagai pembagi/pengikat terhadap rib-rib yang lain.
- b) Susunan rib-rib yang membentuk titik-titik pertemuan dan penempatan kolom/titik beban pada titik pertemuan rib-rib. Dalam perencanaan pondasi KSSL sebagai pondasi bangunan gedung harus sedemikian rupa sehingga titik pertemuan rib-rib berimpit

tinggi. Selain itu pembesian pada rib dan plat, cukup dengan pembesian minimum, pada umumnya, hanya diperlukan volume beton 0,2 – 0,35 m³ beton/m² luas pondasi, dengan pembesian 90-120 kg/m³ beton. Pondasi KSSL memanfaatkan tanah hingga mampu berfungsi sebagai struktur bangunan bawah dengan komposisi sekitar 85% tanah dan 15% beton.

Sistem Pelaksanaan

- Karena bentuk dan sistem konstruksi sederhana, dimungkinkan untuk dilaksanakan dengan peralatan sederhana dan tidak menuntut keahlian yang tinggi.
- Pelaksanaan lebih cepat dibandingkan dengan sistem pondasi lainnya.

Berikut urutan pelaksanaan pekerjaan pondasi KSSL, yaitu antara lain :

- a) Setelah tanah diratakan, dipasang bekisting untuk rib (dinding sekat), diberi penulangan dan kemudian dicor.



Gambar 7. Pengecoran rib

- b) Pekerjaan bongkaran bekisting, setelah beton cukup umur, dan finishing seperlunya.
- c) Pekerjaan urugan tanah di atas rib dan dipadatkan selapis demi selapis.
- d) Pekerjaan *lean concrete* di atas permukaan tanah timbunan, untuk lantai kerja pelat lantai.



Gambar 8. Pengecoran lean concrete

- e) Pekerjaan pemasangan penulangan untuk lantai, dan stek kolom.



Gambar 9. Pemasangan pembesian slab

- f) Pekerjaan pengecoran untuk lantai (slab KSSL)



Gambar 10. Pondasi KSSL selesai

- g) Setelah pekerjaan pondasi KSSL selesai struktur atas dapat dikerjakan.

c. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah. Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah untuk mendukung beban dengan asumsi tanah mulai mengalami keruntuhan. Besar daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan :

$$q_u = Q_{ult} / FK \quad (1)$$

Dimana nilai FK berkisar antara 1,5 – 3,0.

Tabel 1. Faktor bentuk pondasi

| Faktor bentuk | Nilai | Kemiringan |
|---------------|----------------------------|--------------------------------|
| s_x | $1 + 0,7 (B/L) (1 + 4V/c)$ | Untuk semua tipe |
| s_y | $1 + 0,7 (L/B) (1 + 4V/c)$ | Untuk $c > 0$ Untuk $c = 0$ |

Tabel 2. Faktor-faktor kapasitas dukung Meyerhof

| α | N_c | N_q | N_γ | α | N_c | N_q | N_γ |
|----------|-------|-------|------------|----------|-------|-------|------------|
| 0 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 20 | 20,25 | 11,65 | 7,0 |
| 1 | 2,28 | 2,05 | 0,05 | 21 | 22,24 | 12,20 | 8,49 |
| 2 | 3,73 | 2,80 | 0,09 | 22 | 24,21 | 12,72 | 10,00 |
| 3 | 5,30 | 3,51 | 0,13 | 23 | 26,16 | 13,21 | 11,58 |
| 4 | 6,97 | 4,17 | 0,16 | 24 | 28,09 | 13,68 | 13,22 |
| 5 | 8,72 | 4,78 | 0,19 | 25 | 29,99 | 14,13 | 14,92 |
| 6 | 10,54 | 5,35 | 0,21 | 26 | 31,86 | 14,56 | 16,68 |
| 7 | 12,41 | 5,87 | 0,23 | 27 | 33,70 | 14,97 | 18,50 |
| 8 | 14,32 | 6,35 | 0,25 | 28 | 35,51 | 15,37 | 20,38 |
| 9 | 16,26 | 6,78 | 0,26 | 29 | 37,29 | 15,75 | 22,32 |
| 10 | 18,22 | 7,17 | 0,27 | 30 | 39,04 | 16,11 | 24,32 |
| 11 | 20,20 | 7,52 | 0,28 | 31 | 40,76 | 16,46 | 26,38 |
| 12 | 22,20 | 7,83 | 0,28 | 32 | 42,45 | 16,79 | 28,50 |
| 13 | 24,21 | 8,10 | 0,29 | 33 | 44,11 | 17,11 | 30,68 |
| 14 | 26,23 | 8,33 | 0,29 | 34 | 45,74 | 17,41 | 32,92 |
| 15 | 28,26 | 8,52 | 0,29 | 35 | 47,34 | 17,69 | 35,22 |
| 16 | 30,30 | 8,68 | 0,29 | 36 | 48,91 | 17,95 | 37,58 |
| 17 | 32,34 | 8,81 | 0,29 | 37 | 50,45 | 18,20 | 39,99 |
| 18 | 34,38 | 8,91 | 0,29 | 38 | 51,96 | 18,43 | 42,46 |
| 19 | 36,42 | 8,98 | 0,29 | 39 | 53,44 | 18,65 | 44,98 |
| 20 | 38,46 | 9,03 | 0,29 | 40 | 54,89 | 18,85 | 47,56 |
| 21 | 40,50 | 9,06 | 0,29 | 41 | 56,31 | 19,04 | 50,19 |
| 22 | 42,54 | 9,07 | 0,29 | 42 | 57,70 | 19,21 | 52,87 |
| 23 | 44,58 | 9,07 | 0,29 | 43 | 59,07 | 19,37 | 55,60 |
| 24 | 46,61 | 9,05 | 0,29 | 44 | 60,41 | 19,51 | 58,38 |
| 25 | 48,64 | 9,02 | 0,29 | 45 | 61,72 | 19,64 | 61,21 |
| 26 | 50,66 | 8,97 | 0,29 | 46 | 63,01 | 19,76 | 64,08 |
| 27 | 52,68 | 8,91 | 0,29 | 47 | 64,27 | 19,87 | 67,00 |
| 28 | 54,69 | 8,83 | 0,29 | 48 | 65,51 | 19,97 | 70,00 |
| 29 | 56,69 | 8,74 | 0,29 | 49 | 66,72 | 20,06 | 73,05 |
| 30 | 58,68 | 8,63 | 0,29 | 50 | 67,91 | 20,14 | 76,16 |
| 31 | 60,66 | 8,51 | 0,29 | 51 | 69,07 | 20,21 | 79,32 |
| 32 | 62,63 | 8,38 | 0,29 | 52 | 70,21 | 20,27 | 82,54 |
| 33 | 64,59 | 8,24 | 0,29 | 53 | 71,33 | 20,32 | 85,81 |
| 34 | 66,54 | 8,09 | 0,29 | 54 | 72,43 | 20,36 | 89,14 |
| 35 | 68,48 | 7,94 | 0,29 | 55 | 73,51 | 20,39 | 92,52 |
| 36 | 70,41 | 7,78 | 0,29 | 56 | 74,57 | 20,41 | 95,95 |
| 37 | 72,33 | 7,61 | 0,29 | 57 | 75,61 | 20,42 | 99,43 |
| 38 | 74,24 | 7,43 | 0,29 | 58 | 76,63 | 20,42 | 102,96 |
| 39 | 76,14 | 7,25 | 0,29 | 59 | 77,63 | 20,41 | 106,54 |
| 40 | 78,03 | 7,06 | 0,29 | 60 | 78,61 | 20,39 | 110,17 |

(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

Meyerhof (1963), dalam Hardiyatmo (2011) menyarankan persamaan kapasitas dukung dengan mempertimbangkan bentuk pondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah di atas pondasinya, sebagai berikut :

$$q_u = c N_c s_c i_c d_c + q N_q s_q i_q d_q + 0,5 B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma \quad (2)$$

Keterangan :

- q_u = kapasitas dukung ultimit
- N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung
- s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk pondasi
- d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman pondasi

- i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban B= lebar pondasi
- q = $D_f \gamma$ = tekanan overburden pada dasar pondasi
- D_f = kedalaman pondasi
- γ = Berat Volume Tanah

Daya dukung ijin adalah beban per satuan luas yang diijinkan untuk dibebankan pada tanah di bawah pondasi, agar kemungkinan terjadinya keruntuhan dapat dihindari. Beban tersebut termasuk beban mati dan beban hidup di atas permukaan tanah, berat pondasi itu sendiri dan berat tanah yang terletak tepat di atas pondasi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung ijin adalah sebagai berikut :

$$Q_{ijin} = q_u / FK \quad (3)$$

d. Analisis Tegangan Tanah

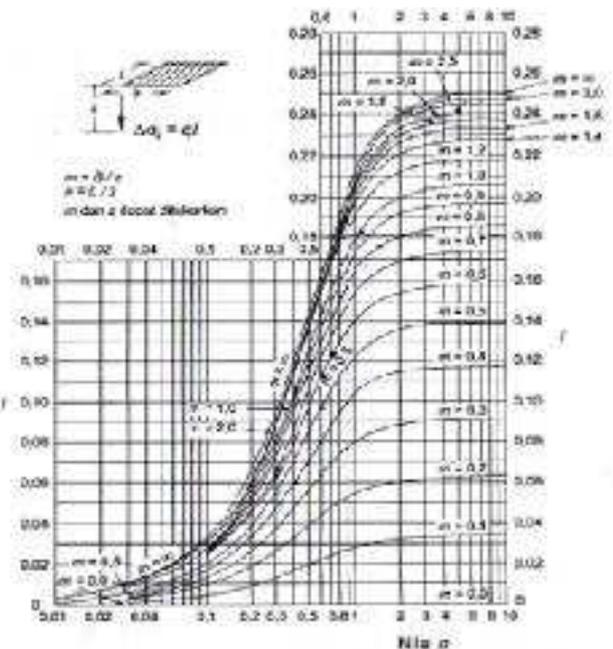
Tegangan tanah terjadi karena pembebanan secara vertikal dari bangunan di atas pondasi. Metode pengaruh Newmark digunakan untuk memperoleh tekanan tanah dibawah sudut suatu beban merata berbentuk persegi dengan dimensi $2a \times 2b$ pada kedalaman z . (Haryono dan Maulana, 2007).

$$\sigma = q \cdot I \quad (4)$$

Keterangan :

σ = tegangan tanah, q = beban merata pada pondasi (q_{max}), I = nilai pengaruh newmark

Untuk nilai pengaruh newmark tegangan tanah yang terjadi dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 11. Grafik faktor pengaruh I untuk tegangan vertikal

Tekanan vertikal dipusat sama dengan 4 kali tekanan vertikal disudut 0, dengan demikian untuk tekanan vertikal dipusat dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\sigma = 4I \cdot q \tag{5}$$

e. Penurunan

Penurunan pondasi akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu :

Penurunan Segera

Penurunan segera adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan (S_r %) < 90%.

Rumusan penurunan seketika dikembangkan berdasarkan teori elastis dari Timoshenko dan Goodir, 1951 (dikutip dalam Haryono dan Maulana,2007), sebagai berikut :

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E} (1 - \mu^2) I \tag{6}$$

Keterangan :

q = besarnya tegangan kontak

B = lebar pondasi

I_p = faktor pengaruh yang tergantung daribentuk pondasi dan kekakuanpondasi

μ = angka *poisson ratio*

E = sifat elastisitas tanah

Dalam perhitungan penurunan segera diperlukan faktor pengaruh bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_p), angka *poisson ratio* (μ), dan sifat elastisitas tanah (E_s).

Penurunan Konsolidasi

Yaitu penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi, besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ($S_r = 100\%$), mendekati jenuh ($S_r = 90\%$) atau pada tanah berbutir halus ($K < 10^{-6}$ m/s).

f. Perhitungan Konstruksi Sarang Laba-Laba

Ketebalan Ekuivalen Pada Konstruksi Sarang Laba-Laba

Didalam perhitungan tebal ekuivalen Konstruksi Sarang Laba-Laba pengaruh dari perbaikan tanah = 0.

$$y = \frac{\pi R t^2 + 4b (h k^2 - t^2)}{2\pi R t + 8b (h k - t)} \tag{7}$$

$$I_x = \frac{1}{12} (2\pi R) (t e^3) \tag{8}$$

$$t e = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_x}{2\pi R}} \tag{9}$$

Perkiraan Daya Dukung Tanah

Untuk Konstruksi Sarang Laba-Laba, perkiraan kapasitas daya dukung tanah ditentukan berdasarkan perumusan :

$$q_a (KSSL) = 1,5 q_a (\text{pondasi rakit}) \tag{10}$$

Perhitungan Tegangan Tanah Maksimum Yang Timbul

Tegangan Tanah Maksimum dihitung dengan rumus:

$$q_0 = \left(\frac{R}{A} \pm \frac{M_y x}{I_y} \pm \frac{M_x y}{I_x} \right) \tag{11}$$

Keterangan :

R = ΣP = Resultante dari gaya-gaya vertical dari beban beban kolom dan beban – bebandinding diatas KSSL.

A = Luasan KSSL

I_x, I_y = Momen inersia dari luasan KSSL terhadap sumbu x dan y

METODE PENELITIAN

a. Lokasi Penelitian

Lokasi Perencanaan *Palu Grand Mall* berada di Jln. Diponegoro/Jln. Rono Kec. Palu Barat Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah.



Gambar 12. Peta Lokasi Proyek Pembanguana *Palu Grand Mall*
(Sumber: Google Map,2012)

b. Data

Dalam perencanaan ini, data yang digunakan adalah data sekunder. Adapun data sekunder ini penulis peroleh dari instansi terkait pada Proyek Pembangunan *Palu Grand Mall*, yaitu:

1) Data Tanah

Hasil Pengujian Sondir

Pada perencanaan pembangunan Palu Grand Mall dilakukan uji sondir sebanyak 4 titik dari kedalaman 0 m sampai 20 m. Hasil uji data sondir digunakan untuk memprediksikan lapisan-lapisan tanah yang berada di bawah, hingga elevasi terdalam pengujian sondir dilakukan. Tanah dapat diasumsikan memiliki perilaku yang sama jika memiliki jangkauan nilai qc dan fr yang sama.

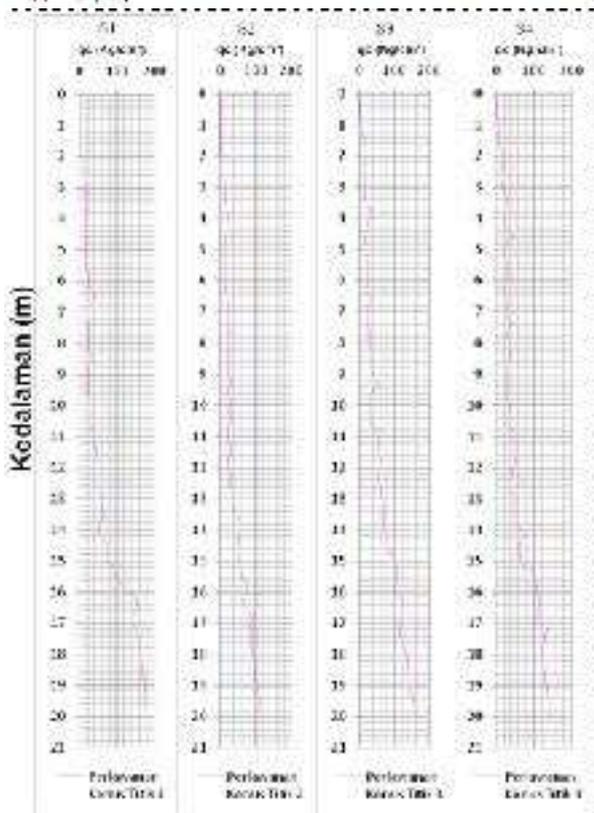
Pada Tabel 3 dan Tabel 4, untuk nilai tahanan konus (qc) dan rasio gesekan (fr) dijumlahkan setiap lapisnya kemudian dirata-ratakan sehingga diperoleh nilai qc dan fr rata-rata untuk setiap lapis tanah.

Tabel 3. qc (Tahanan konus)

| Parameter | Kedalaman (m) | | | | |
|--|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | 1,00 s.d 4,00 | 4,00 s.d 8,00 | 8,00 s.d 12,00 | 12,00 s.d 15,00 | 15,00 s.d 20,00 |
| q ₁₋₄ (kg/cm ²) | 6.200 | 22.151 | 29.000 | 7.228 | 10.228 |
| q ₄₋₈ (kg/cm ²) | 7.892 | 10.976 | 29.26 | 17.222 | 7.48 |
| q ₈₋₁₂ (kg/cm ²) | 10.676 | 22.721 | 12.12 | 62.792 | 128.126 |
| q ₁₂₋₁₅ (kg/cm ²) | 17.000 | 27.022 | 18.770 | 18.171 | 17.500 |

Tabel 4. fr (Rasio gesekan)

| Parameter | Kedalaman (m) | | | | |
|------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | 0,00 s.d 4,00 | 4,00 s.d 8,00 | 8,00 s.d 12,00 | 12,00 s.d 15,00 | 15,00 s.d 20,00 |
| f ₁₋₄ (%) | 0,594 | 5,112 | 9,280 | 4,048 | 1,217 |
| f ₄₋₈ (%) | 0,802 | 0,840 | 8,200 | 2,724 | 0,842 |
| f ₈₋₁₂ (%) | 0,024 | 3,470 | 0,120 | 2,122 | 1,224 |
| f ₁₂₋₁₅ (%) | 5,180 | 1,070 | 0,070 | 1,078 | 1,774 |



Gambar 13. Grafik sondir Titik 1, 2, 3 dan 4

Data Bor Mesin

Hasil penyelidikan tanah dengan menggunakan Bor Mesin yang dilakukan sebanyak 2 titik, yaitu sebagai berikut :

Tabel 5. Data Boring Log

| Titik Bor | Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Sifat | Warna |
|-----------|---------------|---------------------|-------|--------------------|
| BH I | 0,0 - 2,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu kecoklatan |
| | 2,0 - 3,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 3,0 - 4,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 4,0 - 5,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 5,0 - 7,00 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 7,0 - 9,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 9,0 - 10,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 10,0 - 12,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 12,0 - 15,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 15,0 - 20,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| BH II | 0,0 - 3,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 3,0 - 4,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 4,0 - 5,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 5,0 - 6,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 6,0 - 7,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 7,0 - 8,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 8,0 - 9,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 9,0 - 10,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 10,0 - 12,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |
| | 12,0 - 15,0 | Lempung lempu pasir | Lunak | Abu-abu |

Sumber: PT. Jaha Cipta Teguh, 2012.

Data Hasil Laboratorium

Berdasarkan hasil penyelidikan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tadulako, didapatkan nilai rata-rata Indeks Plastis pada bor 1 untuk kedalaman 3,0 – 3,5 m sebesar 26% dan pada kedalaman 9,3 – 10 m sebesar 55%. Pada bor 2 untuk kedalaman 3,0 – 3,5 m sebesar 25% dan pada kedalaman 9,3 – 10 m sebesar 47%.

Tabel 6. Hasil pengujian laboratorium

| No | Parameter Uji | Skala Satuan | Nilai Hasil Uji Kedalaman | | | |
|----|---------------|--------------|---------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | | Bor-1 3,0-3,5 m | Bor-1 9,3-10,0 m | Bor-2 3,0-3,5 m | Bor-2 9,3-10,0 m |
| 1 | Kelembutan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 2 | Keplastisan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 3 | Kelembutan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 4 | Keplastisan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 5 | Kelembutan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 6 | Keplastisan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 7 | Kelembutan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 8 | Keplastisan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 9 | Kelembutan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 10 | Keplastisan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 11 | Kelembutan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |
| 12 | Keplastisan | % | 26,0 | 55,0 | 25,0 | 47,0 |

Sumber: PT. Jaha Cipta Teguh, 2012.

Untuk pengujian Laboratorium pada perencanaan pembangunan Palu Grand Mall menggunakan sampel tanah asli yang diambil pada kedalaman

3 m dan 10 m. Sedangkan untuk sampel tanah terganggu diambil pada kedalaman 2 m.

2) Data Bangunan

Palu Grand Mall memiliki luas bangunan, yaitu ± 15.000 m². Bangunan Palu Grand Mall memiliki 4 lantai tanpa *Basement*, direncanakan menggunakan Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL). Dalam perhitungan perencanaan ini menggunakan rumus pendekatan, seperti yang kita ketahui bahwa perhitungan asli pondasi KSSL mempunyai hak paten dari penemu pondasi tersebut.

Untuk ukuran balok dan kolom yang digunakan dalam perencanaan pembangunan Palu Grand Mall, yaitu sebagai berikut :

Perencanaan Balok

Ukuran balok yang akan digunakan pada pembangunan Palu Grand Mall yaitu sebagai berikut :

- Type balok B1 = 30 x 15
- Type balok B2 = 30 x 20
- Type balok B3 = 40 x 15
- Type balok B4 = 40 x 20
- Type balok B5 = 40 x 25
- Type balok B6 = 50 x 25
- Type balok B7 = 50 x 30
- Type balok B8 = 60 x 30
- Type balok B9 = 70 x 35
- Type balok B10 = 80 x 40
- Type balok B11 = 85 x 50
- Type balok B12 = 100 x 50
- Type balok B13 = 110 x 50

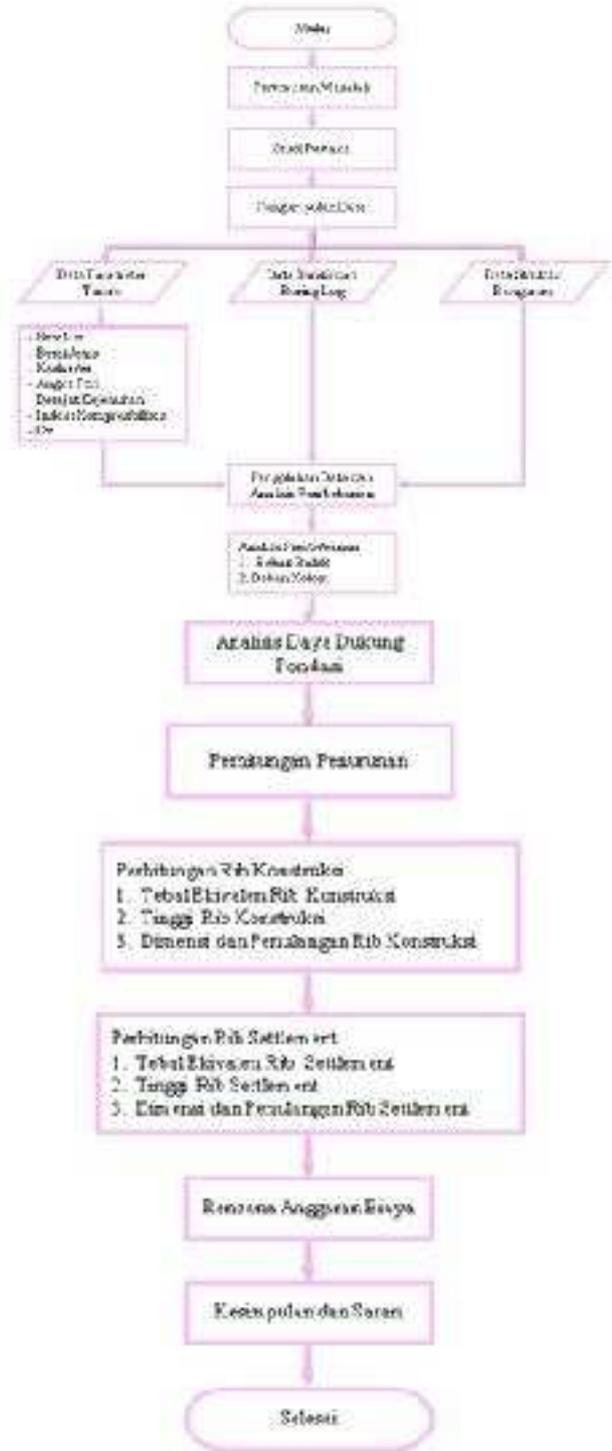
Perencanaan Kolom

Dimensi kolom yang akan digunakan pada pembangunan Palu Grand mall adalah sebagai berikut :

- Type kolom K1 = 60 x 60
- Type kolom K2 = 70 x 70
- Type kolom K3 = 80 x 80
- Type kolom K4 = 80 x 50
- Type kolom K5 = 100 x 100
- Type kolom K6 = 90 x 90
- Type kolom K7 = 80 x 40

3) Bagan Alir Penelitian

Adapun tahapan perhitungan dalam penulisan ini digambarkan sebagai berikut:



Gambar 14. Bagan alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pembebanan

Analisa pembebanan sangat penting untuk mengetahui beban-beban yang berpengaruh terhadap terjadinya suatu penurunan. Dan juga untuk mengetahui berapa besar beban terpusat yang terjadi pada masing-masing kolom.

Perhitungan pembebanan diperoleh dari program SAP 2000 V.14, satuan yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu Kg. Beban-beban yang dimasukkan dalam perhitungan ini yaitu beban balok, beban kolom, beban atap, pelat lantai, beban hidup berdasarkan Peraturan Pembebanan Bangunan Indonesia 1983 serta beban gempa berdasarkan SK-SNI 1726-2002.



Gambar 15. Pondasi yang ditinjau

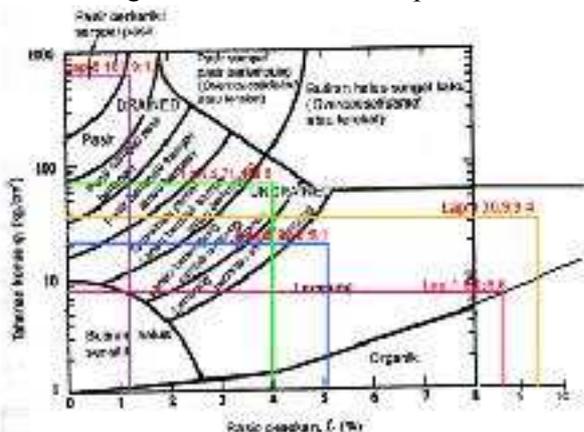
Pada perencanaan ini hasil pembebanan yang terbesar diperoleh pada zona 1 dengan ukuran persegmennya 8 m x 8 m. Hasil pembebanan yang terbesar yaitu sebagai berikut :

- P1 = 321789 Kg = 321,789 t
- P2 = 324050 Kg = 324,050 t
- P3 = 355451 Kg = 355,451 t
- P4 = 356806 Kg = 356,806 t

Yang menjadi acuan pada perhitungan perencanaan ini yaitu beban terbesar yang terletak ditepi bangunan sebesar 356,806 t.

b. Profilisasi Tanah

Klasifikasi tanah didasarkan pada hasil uji sondir yang dilakukan pada 4 titik dilokasi pembangunan Palu Grand Mall. Pada perencanaan ini titik sondir yang menjadi acuan yaitu pada titik sondir 1 dengan kedalaman 0 m sampai 20 m.



Gambar 16. Klasifikasi tanah dari hasil uji sondir

Berdasarkan hasil uji sondir lapisan tanah dibagi menjadi 5 lapis yaitu :

- Lapis 1 : 0,00 s/d 4,00 m
- Lapis 2 : 4,00 s/d 8,00 m

- Lapis 3 : 8,00 s/d 12,00 m
- Lapis 4 : 12,00 s/d 15,00 m
- Lapis 5 : 15,00 s/d 20,00 m

Dari Gambar 16. diperoleh jenis tanah untuk lapis 1, 2, dan 3 yaitu tanah lempung dan pada lapis 4 yaitu tanah lanau berlempung, sedangkan pada lapis 5 yaitu tanah pasir berkerikil. Dari Tabel 7 diperoleh nilai Gs dari hasil korelasi antara jenis tanah.

Tabel 7. Hasil korelasi antara jenis tanah dan nilai Gs.

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Gs |
|-----------------|------------------|------|
| 0,00 s/d 4,00 | Lempung | 2,62 |
| 4,00 s/d 8,00 | Lempung | 2,62 |
| 8,00 s/d 12,00 | Lempung | 2,62 |
| 12,00 s/d 15,00 | Lanau berlempung | 2,39 |
| 15,00 s/d 20,00 | Pasir berkerikil | 2,63 |

Tabel 8. Nilai sudut gesek tanah, angka pori, kadar air dan berat isi kering.

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Angka Pori (e) | Kadar Air (w) (%) | Ya (kg/m ³) | γ _d (kg/m ³) |
|-----------------|------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 0,00 s/d 4,00 | Lempung | 1,2 | 40 | 24,5 | 6 |
| 4,00 s/d 8,00 | Lempung | 1,3 | 40 | 18 | 6 |
| 8,00 s/d 12,00 | Lempung | 1,2 | 40 | 24,5 | 6 |
| 12,00 s/d 15,00 | Lanau berlempung | 1,3 | 40 | 18 | 31 |
| 15,00 s/d 20,00 | Pasir berkerikil | 0,67 | 20 | 16 | 30 |

Dari hasil analisa sondir, data-data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil analisa sondir

| Kedalaman (m) | Q _v | γ _v (%) | f _s (kg/cm ²) | f _d (kg/cm ²) | γ _v | f _s (kg/cm ²) | f _d (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0,00 s/d 4,00 | 7,80 | 4 | 7,80 | 1,50 | 1,2 | 1,05 | 7,10 |
| 4,00 s/d 8,00 | 7,80 | 4 | 7,80 | 1,50 | 1,2 | 1,05 | 6,60 |
| 8,00 s/d 12,00 | 7,80 | 4 | 7,80 | 1,50 | 1,2 | 1,05 | 6,60 |
| 12,00 s/d 15,00 | 7,10 | 31 | 7,10 | 1,20 | 1,3 | 1,69 | 14,54 |
| 15,00 s/d 20,00 | 7,80 | 30 | 7,75 | 1,6 | 0,67 | 7 | 40,00 |

c. Analisa Daya Dukung Pondasi

Faktor-faktor kapasitas daya dukung Meyerhof: N_c, N_q dan N_γ : untuk φ = 0°, adalah sebagai berikut :

- N_c = 5,14
- N_q = 1,00
- N_γ = 0,00

Faktor-faktor bentuk, kedalaman dan kemiringan didapat dari rumus Meyerhof (1963), yaitu sebagai berikut :

- K_p = tan² (45 + φ/2) = tan² (45 + 0/2) = 1
- S_c = 1 + 0,2 . K_p (B/L) = 1 + 0,2 . 1 (8/8) = 1,2
- S_q = 1 + 0,1 . K_p (B/L) = 1 + 0,1 . 1 (8/8) = 1,1

$$S_y = S_q = 1,1$$

Nilai d_c , d_q dan d_r didapat dengan rumus sebagai berikut :

$$d_c = 1 + 0,2 \cdot K_p(D/B) = 1 + 0,2 \cdot 1(2,8/8) = 1,070$$

$$d_q = 1 + 0,1 \cdot K_p(D/B) = 1 + 0,1 \cdot 1(2,8/8) = 1,035$$

$$d_r = d_q = 1,035$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot S_q \cdot I_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

$$q = \gamma_b \cdot D = 0,167 \cdot 280 = 46,76 \text{ kg/cm}^2$$

Beban dianggap beban vertikal sehingga tidak membentuk sudut, maka nilai dari $i_c = i_q = i_\gamma = 1$.

$$q_{ult} = 2,102 \cdot 5,14 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,070 + 46,76 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,035 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 0,167 \cdot 0 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,035 = 13,873 + 53,236 + 0,000 = 67,109 \text{ kg/cm}^2 = 671,090 \text{ t/m}^2$$

$$q_a \text{ pondasi rakit} = \frac{q_{ult}}{FS} = \frac{671,090}{3} = 223,697 \text{ t/m}^2$$

$$q_a \text{ (KSSL)} = 1,5 \cdot q_a \text{ pondasi rakit} = 1,5 \cdot 223,697 = 335,545 \text{ t/m}^2$$

Tegangan Tanah Maksimum

Diketahui :

- Panjang pelat pondasi (L) = 8 m
- Lebar pelat pondasi (B) = 8 m
- Tebal pelat pondasi = 0,13 m
- Kedalaman penanaman pondasi = 2,8 m
- γ_{beton} = 2,5 t/m²
- γ_{tanah} = 1,67 t/m²

$$I_x = \frac{L \cdot B^3}{12} = \frac{800 \cdot 800^3}{12} = 3,413E+10 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{L^3 \cdot B}{12} = \frac{800^3 \cdot 800}{12} = 3,413E+10 \text{ cm}^4$$

$$R = \sum P = \frac{(P1+P2+P3+P4) + (\gamma_{beton} \cdot \gamma_{tanah})}{L \cdot B} = 21,285 \text{ t}$$

$$M_y = \sum P \cdot x = (P1 + P3) \cdot (-4) + (P2 + P4) \cdot (4) = 14,464 \text{ tm}$$

$$M_x = \sum P \cdot y = (P1 + P2) \cdot (-4) + (P3 + P4) \cdot (4) = 265,672 \text{ tm}$$

$$q_0 = \left(\frac{R}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \right) = \left(\frac{21,287}{64} \pm \frac{14,464x}{1/12(8 \cdot 8^3)} \pm \frac{265,672y}{1/12(8 \cdot 8^3)} \right) = (0,333 \pm 0,042x \pm 0,778y)$$

Tabel 10. Hasil tegangan tanah maksimum

| Kolom | x (m) | y (m) | q max (t/m ²) | q min (t/m ²) |
|-------|-------|-------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | -4 | -4 | 2,947 | 3,613 |
| 2 | 4 | -4 | 2,611 | 3,277 |
| 3 | -4 | 4 | 4,277 | 4,943 |
| 4 | 4 | 4 | 3,941 | 2,917 |

Jadi, dari hasil perhitungan diatas didapat nilai tegangan tanah maksimum sebesar 3,613 t/m².

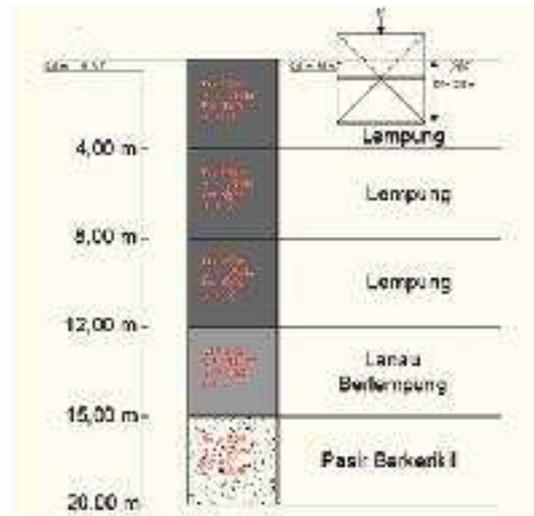
d. Analisa Penurunan

1) Tegangan Tanah Maksimum

Dari hasil perhitungan tegangan tanah akibat beban merata bangunan Palu Grand Mall sebesar $q = 3,613 \text{ t/m}^2$. Kedalaman yang dihitung yaitu 2,8 m sampai 20 m. Karena kedalaman pondasi 2,8 m, sehingga kedalaman 1 m dan 2 m belum ada pengaruh dari pembebanan bangunan.

2) Tekanan Overburden (Po')

Tinjauan tekanan tanah efektif (Po') dihitung sampai pada kedalaman 20 m. Untuk data hasil penyelidikan tanah sampai pada kedalaman 20 m.



Gambar 17. Profil tanah

Dari hasil perhitungan didapatkan tegangan overburden (Po') pada kedalaman 20 m sebesar 14,87 t/m².

3) Perhitungan Penurunan

Penurunan Segera

Modulus elastisitas untuk tanah lempung (E) = 9000 kN/m²

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E} (1 - \mu^2) \cdot I_p = \frac{3,613 \cdot 8}{9000} (1 - 0,5^2) \cdot 1,06 = 0,0017 \text{ m} = 0,170 \text{ cm}$$

Jadi penurunan segera adalah sebesar 0,170 cm.

3) Penurunan Konsolidasi

Berdasarkan grafik prakonsolidasi dari hasil uji Laboratorium, diperoleh nilai tekanan prakonsolidasi $0,8 \text{ kg/cm}^2$ atau 8 t/m^2 . Dari grafik prakonsolidasi di atas dapat diketahui bahwa konsolidasi yang terjadi pada perencanaan pembangunan Palu Grand Mall yaitu overkonsolidasi karena $P_c \geq P_o$. Pada perhitungan penurunan perencanaan pembangunan Palu Grand Mall adalah sebagai berikut :

$$e_1 = 0,88, e_0 = 0,78$$

$$P_0 = 0,7 \text{ kg/cm}^2 = 7 \text{ t/m}^2$$

$$P_1 = 2 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta e = e_1 - e_0 = 0,1$$

$$\Delta P = P_1 - P_0 = 0,88 - 0,78 = 20 - 7 = 13 \text{ t/m}^2$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right)} = \frac{0,1}{\log\left(\frac{7+13}{7}\right)} = 0,219$$

$$C_s = 1/5 \cdot C_c = 1/5 \cdot 0,219 = 0,044$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai penurunan yang diakibatkan adanya overkonsolidasi adalah sebesar $4,256 \text{ cm}$. Dari perhitungan di atas dapat diketahui penurunan akibat konsolidasi sebesar $4,256 \text{ cm}$ dengan faktor waktu U sebesar 90% , maka waktu penurunan terjadi adalah $12,465$ tahun

e. Perhitungan Rib Konstruksi

Tebal Ekuivalen Rib Konstruksi

Didalam perhitungan tebal ekuivalen Konstruksi Sarang Laba-Laba, pengaruh dari perbaikan tanah dianggap = 0.

$$\text{Kolom} = 100 \times 100 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\text{Asumsi, Tebal pelat (t)} = 13 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal rib (b)} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi Rib (hk)} = 130 \text{ cm}$$

$$R = \sqrt{\frac{356,806}{\pi \cdot 335,545}} = 0,582 \text{ m} = 58,2 \text{ cm}$$

Check :

$$R > 0,5 \cdot a$$

$$58,2 \text{ cm} > 0,5 \cdot 100 \text{ cm}$$

$$58,2 \text{ cm} > 50 \text{ cm}$$

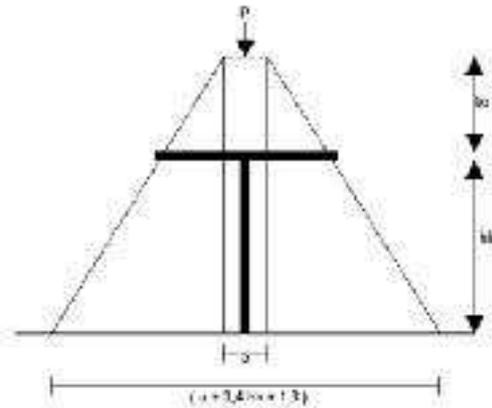
Maka, diambil nilai $R = 58,2 \text{ cm}$

$$y = \frac{\pi R t^2 + 4b(hk^2 - t^2)}{2\pi R t + 8b(hk - t)} = 52,177 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{1}{2} 2\pi R t^3 + 2\pi R t \left(y - \frac{1}{2} t\right)^2 + 8 \frac{1}{12} b(hk - t)^3 + 8b(hk - t) \left(\frac{hk - t}{2} + t - y\right)^2 = 102589953,1 \text{ cm}^4$$

$$t_e = \left(12 \frac{I_x}{2\pi R}\right)^{1/3} = 124,342 \text{ cm} = 125 \text{ cm}$$

Tinggi Rib Konstruksi



Gambar 18. Tinggi Rib konstruksi

Dari perhitungan diperoleh nilai : $hk_1 = 0,259 \text{ m}$. Untuk memperoleh desain yang ekonomis (dengan memanfaatkan pembesian minimum), maka ditentukan :

$$hk = 0,8 \cdot hk_1 = 0,207 \text{ m, sehingga :}$$

$$q_0 = \frac{P_{\max}}{(a + 3,4 hk + 1,3)(b + 3,4 hk + 1,3)} = 18,082 \text{ t/m}^2$$

Dimensi dan Penulangan Rib Konstruksi

Luas penyebaran beban :

$$F = (a + 3,4 hk + 2c + 1,3)^2 = 11,599 \text{ m}^2$$

Check :

$$q = \frac{\text{Pyang bekerja}}{F} \leq q_{\text{ijin}}$$

$$= \frac{356,806}{11,599} \leq 335,545 \text{ t/m}^2$$

$$= 30,762 \text{ t/m}^2 \leq 335,545 \text{ t/m}^2 \dots \text{Aman !!!}$$

Dengan memodelkan RIB sebagai balok ditumpuan jepit dan diberi beban q atau tegangan maksimum yang terjadi, maka dapat diketahui nilai bidang momen dan geser yang bekerja.

Tulangan Rib Konstruksi

Diketahui :

$$- \text{Mutu beton (f}_c\text{)} = 25 \text{ Mpa} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$- \text{Mutu baja (f}_y\text{)} = 300 \text{ Mpa} = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

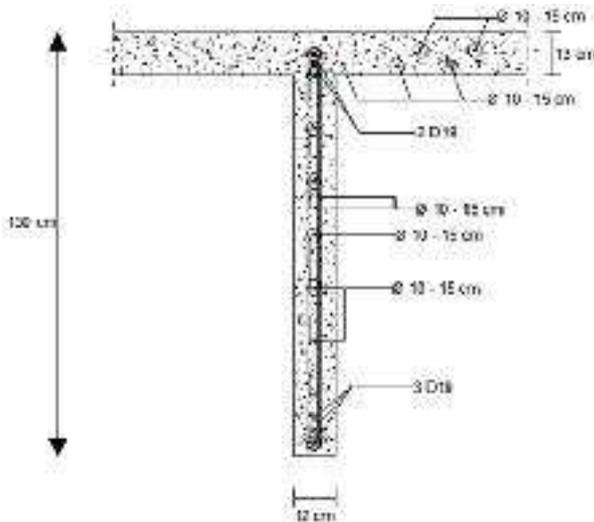
$$- B = 0,12 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

$$- H = 1,3 \text{ m} = 130 \text{ cm}$$

$$- \text{Selimut Beton (p)} = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$$

$$- \text{\textcircled{\small O}} \text{ tulangan utama} = 19 \text{ mm} = 1,9 \text{ cm}$$

$$- \text{\textcircled{\small O}} \text{ tulangan sengkang} = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$$



Gambar 19. Sketsa Penulangan rib konstruksi

Pada penulangan rib konstruksi digunakan tulangan dengan ukuran Ø 10 -15 cm (AS = 471 mm²) dengan syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$.

f. Perhitungan Rib Settlement

Tebal Ekuivalen Rib Settlement

Didalam perhitungan tebal ekuivalen Konstruksi Sarang Laba-Laba, pengaruh dari perbaikan tanah dianggap = 0.

$$R = \sqrt{\frac{356,806}{\pi \cdot 335,545}} = 0,582 \text{ m} = 58,2 \text{ cm}$$

$$Y = \frac{\pi R t^2 + 4b (hk^2 - t^2)}{2\pi R t + 8b (hk - t)} = 75,924 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{1}{2} 2\pi R t^3 + 2\pi R t \left(y - \frac{1}{2} t\right)^2 + 8 \frac{1}{12} b (hk - t)^3 + 8b (hk - t) \left(\frac{hk-t}{2} + t - y\right)^2 = 256183333,4 \text{ cm}^4$$

$$T_e = \left(12 \frac{I_x}{2\pi R}\right)^{1/3} = 169,651 \text{ cm} = 170 \text{ cm}$$

Tinggi Rib Settlement

a, b = Lebar kolom (m)

F = Luas daerah penyebaran beban

q₀ = Tegangan tanah maksimum

$$F = (a + 3,4 hk + 1,3) (b + 3,4 hk + 1,3)$$

Keseimbangan beban :

$$P = F \cdot q_0$$

$$P = q_0 (a + 3,4 hk + 1,3) (b + 3,4 hk + 1,3)$$

$$P_{max} = 3,613 (1 + 3,4 \cdot 1,8 + 1,3)^2 = 256,149 \text{ t}$$

$$hk_1 = 0,246 \text{ m}$$

Untuk memperoleh desain yang ekonomis (dengan memanfaatkan pembesian minimum), maka ditentukan :

$$hk = 0,8 \cdot hk_1 = 0,197 \text{ m}$$

Sehingga :

$$q_0 = \frac{P_{max}}{(a+3,4 hk+1,3) (b+3,4 hk+1,3)} = 29,043 \text{ t/m}^2$$

Dimensi dan Penulangan Rib Settlement

Luas penyebaran beban :

$$F = (a + 3,4 hk + 2c + 1,3)^2 = 11,034 \text{ m}^2$$

Check :

$$q = \frac{\text{Pyang bekerja}}{F} \leq q_{ijin}$$

$$= \frac{356,806}{11,034} \leq 335,545 \text{ t/m}^2$$

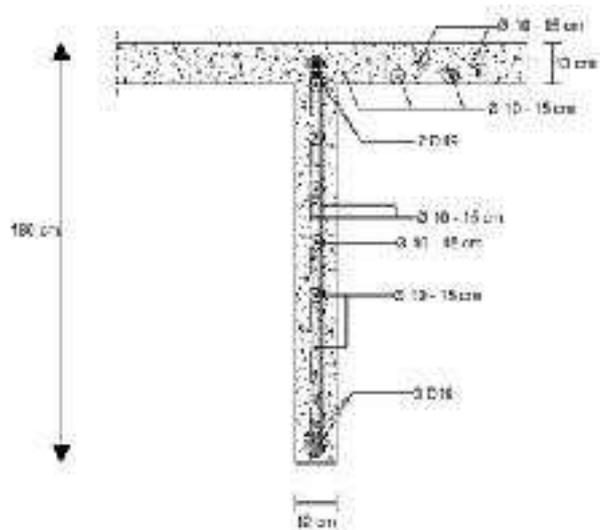
$$= 32,337 \text{ t/m}^2 \leq 335,545 \text{ t/m}^2 \dots \text{Aman !!!}$$

Dengan memodelkan RIB sebagai balok ditumpuan jepit dan diberi beban q atau tegangan maksimum yang terjadi, maka dapat diketahui nilai bidang momen dan geser yang bekerja.

Tulangan Rib Settlement

Diketahui :

- Mutu beton (f_c) = 25 Mpa = 250 kg/cm²
- Mutu baja (f_y) = 300 Mpa = 3000 kg/cm²
- b = 0,12 m = 12 cm
- h = 1,8 m = 180 cm
- Selimut Beton (p) = 40 mm = 4 cm
- Ø tulangan utama = 19 mm = 1,9 cm
- Ø tulangan sengkang = 10 mm = 1 cm



Gambar 20. Sketsa Penulangan rib settlement

Pada penulangan rib konstruksi digunakan tulangan dengan ukuran Ø 10 -15 cm (AS = 471 mm²) dengan syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$.

g. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Tabel 11. Rencana anggaran biaya Pondasi KSSL

| No | Uraian Pekerjaan | Satuan | Jumlah | Harga Satuan (Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|------------------------------|---------------------------|----------------|--------|-------------------|----------------------|
| I. PEKERJAAN TANAH | | | | | |
| 1 | Pembesian Pondasi | m ³ | 170,00 | 44.000,00 | 7.480.000,00 |
| 2 | Terdapat Pondasi KSSL | m ² | 170,00 | 4.375,00 | 743.750,00 |
| 3 | Terdapat Pondasi KSSL | m ² | 170,00 | 32.125,00 | 5.461.250,00 |
| 4 | Terdapat Pondasi KSSL | m ² | 170,00 | 62.975,00 | 10.705.750,00 |
| 5 | Terdapat Pondasi KSSL | m ² | 170,00 | 1.500,00 | 255.000,00 |
| | | | | | 13.948.220,00 |
| II. PEKERJAAN HINDANG | | | | | |
| 6 | Desain Pondasi KSSL (KSO) | m ² | 10,00 | 2.212,00 | 22.120,00 |
| 7 | Desain Pondasi KSSL (KSO) | m ² | 10,00 | 1.750,00 | 17.500,00 |
| 8 | Desain Pondasi KSSL (KSO) | m ² | 10,00 | 75.000,00 | 750.000,00 |
| 9 | Desain Pondasi KSSL (KSO) | m ² | 10,00 | 2.100,00 | 21.000,00 |
| | | | | | 1.035.620,00 |

13.948.220,00 dan Pekerjaan pondasi KSSL Rp.130.620.019,776

Saran

- Untuk bangunan gedung yang bertingkat 2 sampai 10 lantai berada ditengah lunak disarankan untuk menggunakan pondasi konstruksi sarang laba-laba (KSSL) karena sistem pondasi ini memiliki kekakuan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sistem pondasi lainnya, mempertimbangkan total penurunan yang akan terjadi serta penurunan yang terjadi akan merata.
- Potensi penurunan sebesar 4,25 cm sudah memenuhi syarat penurunan pada pondasi dangkal

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan pada Analisis Pondasi Sarang Laba-Laba (KSSL) pada Palu Grand Mall, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Setelah melakukan klasifikasi tanah pada hasil uji Laboratorium lapangan, dapat ditetapkan jenis tanah pada lokasi pembangunan Palu Grand Mall. Yaitu, pada kedalaman 0 s/d 12 mempunyai jenis tanah lempung, kedalaman 12 s/d 15 m mempunyai jenis tanah lanau berlempung dan pada kedalaman 15 s/d 20 m mempunyai jenis tanah pasir berkerikil.
- Pembebanan pada Palu Grand Mall menggunakan program SAP, beban terbesar yaitu 356,806 ton.
- Daya dukung pondasi KSSL diperoleh sebesar 335,545 t/m².
- Tegangan tanah maksimum diperoleh sebesar 3,613 t/m².
- Potensi penurunan yang terjadi adalah 4,25cm.
- Tebal ekivalen pada pondasi KSSL diperoleh : Rib konstruksi 125 cm dan Rib settlement 170 cm
- Dari hasil perhitungan pada rib konstruksi dan rib settlement digunakan tulangan dengan ukuran Ø 10 -15 cm (AS = 471 mm²) dengan syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$. Jika syarat tersebut terpenuhi maka tulangan tersebut bisa digunakan atau aman untuk digunakan.
- Dari perhitungan luas daerah penyebaran beban yang ditinjau persegmen dengan luasan 8 m x 8 m yaitu untuk rib konstruksi 11,599 m² dan untuk rib settlement 11,034 m². q_{yt} dan q_{ijin} sudah terpenuhi yaitu: Rib konstruksi q_{yt} 30,762 t/m² ≤ q_{ijin} 335,545 t/m² dan Rib settlement : q_{yt} 32,337 t/m² ≤ q_{ijin} 335,545 t/m²
- Hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya pada pembangunan Palu Grand Mall, dapat dirincikan sebagai berikut: Pekerjaan tanah Rp.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim 2011, *Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba*, Arsip Iptek.

Anonim 2012, https://www.facebook.com/KonstruksiSarangLabaLaba?ref=br_tf

Asiyanto, 2009, *Metode Konstruksi Untuk Pekerjaan Fondasi*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

Bowles, J, E 1992, *Analisa dan Desain Pondasi Edisi Keempat Jilid I*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

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

Das, B. M., 2011, *Principles of Foundation Engineering Seventh Edition*, Cengage Learning, USA.

Hardiyatmo, H. C., 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Kedua*, Penerbit Gadjah Mada University Press.

Haryono dan Maulana, 2007, *Analisis Penggunaan Struktur Pondasi Sarang Laba-Laba Pada Gedung BNI '46 Wilayah 05 Semarang*, Skripsi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.

Masyhur Irsyam, 2012, *Rekayasa Pondasi*, Penerbit Universitas Institut Teknologi Bandung.

Anonim, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*, Bandung

SK SNI 03-2002, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.