

ANALISIS DINDING PENAHAN TANAH DENGAN PONDASI TIANG BOR (STUDI KASUS TOWER PLN SUTT 150KV No. 71 DI JALAN GATOT SUBROTO BARAT DENPASAR)

ANALYSIS RETAINING WALL WITH BORED PILE (CASE STUDY TOWER PLN SUTT
150KV No.71 AT JALAN GATOT SUBROTO BARAT DENPASAR)

I G. N. P. Dharmayasa*, I G.L.B. Eratodi

*Email : ngurah.dharmayasa@gmail.com

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional (Undiknas), Denpasar

Abstrak — Di daerah Jalan Gatot Subroto Barat, Denpasar terjadi permasalahan yang terjadi di daerah ini adalah tower PLN SUTT 150 kV no.71 menghalangi jalan masuk ke lahan milik warga, sehingga harus melakukan rekayasa DPT dengan memotong sebagian tanah timbunan serta DPT tipe gravitasi yang telah ada sebelumnya tanpa mengurangi keamanan konstruksi tower SUTT dan mengganti dengan DPT dari tiang bor (*bored pile*). Setelah melakukan penyelidikan tanah dan diuji di laboratorium dihasilkan nilai sudut geser tanah (ϕ) = 30° dan berat volume (γ) = 1,6 gr/cm³. Berdasarkan analisis pada DPT diperoleh nilai momen maksimum (M maks) = 2.384,248 kg.m dan gaya geser maksimum (D maks) = 1.098,952 kg. Hasil perhitungan DPT dari susunan tiang bor beton bertulang dengan diameter 40 cm diperoleh kedalaman pemancangan 4,5 m dan tinggi DPT 3,5 m diatas tanah, sehingga dibutuhkan tiang bor (*bored piled*) dengan panjang 8 m sebanyak 35 buah. Tiang bor (*bored piled*) diameter 40 cm menggunakan tulangan longitudinal 6D16 dan tulangan geser menggunakan tulangan Ø10-250. Luas lahan baru yang didapatkan akibat pengurangan eksisting di bagian utara (depan) diperoleh lahan sebesar 5,0 x 11,7 m² dan jalan akses di bagian timur dari 2,5 m menjadi 3,9 m.

Kata kunci: dinding penahan tanah, tower SUTT, *bored pile*.

Abstract — In area Jalan Gatot Subroto Barat, Denpasar there is a problem when the tower PLN SUTT 150 kV no.71 blocking the entrance to the land belonging to the people, so it must be modified of retaining wall by cutting a portion of the soil embankment and existing gravity retaining wall without decreasing safety SUTT tower construction, and replace by bored pile retaining wall. After investigating the soil and tested in the laboratory generated angle of friction (ϕ) = 30° and density (γ) = 1.6 g/cm³. Based on the analysis obtained the maximum moment (M max) = 2,384.248 kg m and maximum shear force (D max) = 1,098.952 kg. Retaining wall calculation results the composition of bored pile of reinforced concrete with a diameter of 40 cm was installed in the ground 4.5 m and height 3.5 m above the ground, so it takes a bored piled with 8 m long by 35 pieces. Bored piled with diameter 40 cm using 6D16 main longitudinal reinforcement and shear reinforcement using Ø10-250. The new land area obtained as a result of the reduction of existing retaining wall in the north (front side) is 5.0 x 11.7 m² and access roads in the eastern part wider from 2.5 m to 3.9 m.

Keywords: retaining wall, tower SUTT, *bored pile*.

I. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan terhadap listrik dalam kehidupan sekarang sangat tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan listrik di masyarakat PLN memerlukan jaringan yang mampu menjangkau ke seluruh wilayah yang memerlukan tenaga listrik. Jaringan untuk mendistribusikan listrik ke masyarakat sangat

kompleks karena jumlah pelanggan yang harus dilayani sangat banyak.

Jaringan PLN tersebut berupa jaringan bawah tanah dan tiang-tiang serta tower oleh PLN. Bangunan tiang-tiang dan tower-tower tersebut sering menimbulkan masalah dalam penggunaan lahan karena memerlukan tempat yang cukup luas. Masalah penggunaan lahan ini banyak timbul di

daerah perkotaan karena semakin sulitnya memperoleh lahan dan harga lahan yang mahal. Biasanya jaringan listrik PLN sudah dibangun lebih dahulu sebelum pemilik lahan disekitar jaringan PLN memanfaatkan lahannya sehingga menyebabkan timbul masalah.

Salah satu lokasi yang mengalami permasalahan adalah di daerah Jalan Gatot Subroto Barat, Denpasar. Permasalahan yang terjadi di daerah ini adalah tower milik PLN yaitu tower SUTT 150 kV no.71 menghalangi jalan masuk ke lahan milik warga, sehingga harus melakukan rekayasa dinding penahan tanah dengan memotong sebagian tanah timbunan serta dinding penahan tanah tanpa mengurangi keamanan konstruksi tower SUTT. Agar proses pembuatan dinding penahan tanah pengganti berjalan dengan aman, maka dipilih tiang bor (*bored pile*) sebagai dinding penahan tanah pengganti dan dilakukan secara bertahap untuk menghindari terjadinya keruntuhan dinding penahan tanah.

Dalam analisis ini akan dibahas mengenai desain tiang bor (*bored pile*) yang memadai sebagai dinding penahan tanah sehingga aman ketika proses pemindahan dinding penahan tanah dan tercapai konstruksi yang aman setelah selesai pemindahan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

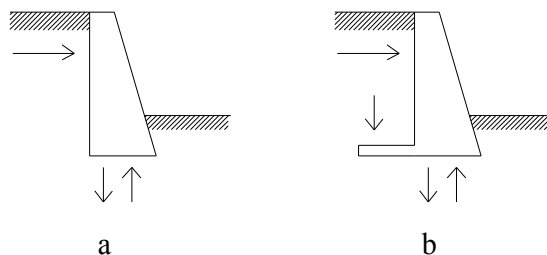
A. Penyelidikan Tanah

Tujuan dari penyelidikan tanah adalah untuk mengetahui letak atau posisi lapisan tanah yang memenuhi syarat daya dukung, berdasarkan sifat dan karakteristiknya untuk keperluan rekayasa. Agar sifat dan karakteristik tanah dapat diketahui maka perlu dilakukan pengujian di laboratorium. Sebelum dilakukan pengujian di laboratorium perlu dilakukan pengambilan contoh tanah di lapangan dengan jalan mengebor. Ada dua macam contoh tanah untuk dilakukan pengujian di laboratorium.

- Contoh tanah yang tidak terganggu (*undisturb sample*), yaitu contoh tanah yang mempunyai sifat-sifat asli sesuai dengan kondisi tanah di tempat pengambilan contoh tanah. Sifat-sifat asli ini meliputi kondisi struktur tanah, kepadatan tanah, kadar air dan kondisi ikatan kimianya.
- Contoh tanah yang terganggu (*disturb sample*), yaitu contoh tanah yang diambil tanpa harus mempertahankan sifat-sifat aslinya. Contoh tanah terganggu biasanya digunakan untuk analisis ukuran butiran, batas-batas Atterberg (meliputi batas cair dan indeks plastisitas), klasifikasi tanah serta uji pemadatan [1].

B. Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Dinding penahan tanah seperti tampak pada Gambar-1. merupakan komponen struktur yang dibangun untuk menahan massa tanah pada tanah yang berkontur atau tanah yang memiliki elevasi yang berbeda, misalnya untuk jalan raya dan bangunan pada lereng. Tipe-tipe dinding penahan tanah yang umum digunakan adalah: dinding gravitasi (*gravity retaining wall*), dinding semi gravitasi, dinding kantilever dan dinding penahan *counterfort*. Dinding gravitasi merupakan dinding penahan tanah yang mengandalkan berat bahan sebagai penahan tanah umumnya berupa pasangan batu atau bronjong batu (*gabion*). Dinding kantilever dibuat dengan kombinasi pondasi dan dinding beton bertulang untuk menahan beban tanah. Sedangkan dinding penahan *counterfort* adalah dinding penahan yang diperkuat oleh balok [2].



Gambar-1. Dinding Penahan Tanah: a.) dinding penahan tanah tipe gravitasi; b). dinding penahan tanah cantilever.

Selain dinding penahan tanah tersebut diatas dinding penahan tanah dari tiang bor (*bored pile*) beton sudah digunakan secara luas karena secara struktur lebih kaku, cepat dikerjakan dan rendahnya getaran tanah ketika pemasangan menjadi keuntungan dinding penahan tanah dari tiang bor (*bored pile*). Ada beberapa macam susunan dinding dari tiang bor (*bored pile*), hal ini dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar yaitu tanah non kohesi atau tanah lunak yang memerlukan struktur dinding penahan yang dibuat sangat rapat dengan tanah yang ditahan sehingga mengurangi rongga antara tanah dinding penahan. Kondisi air tanah juga harus diperhatikan, karena semakin dalam lokasi air tanah dari struktur dinding penahan, semakin efektif fungsi struktur dinding penahan tanah yang dibuat [3].

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi suatu lereng dengan dinding dari pondasi tiang dapat meningkatkan daya dukung dari suatu pondasi [4].

Agar tidak ada kegagalan pada dinding penahan tanah (*retaining wall*), maka perlu dibuatkan *subdrain* untuk menghindari kenaikan kadar air (W_c), karena apabila tanah mencapai kondisi batas cair akan sangat berbahaya bagi dinding penahan tanah (*retaining wall*) [5].

C. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Pada kondisi tekanan tanah aktif, hampir semua dinding penahan tanah mengalami pergerakan akibat tekanan tanah. Gerakan dinding ini adalah dasar dari teori tekanan tanah lateral dan dianggap bahwa gerakan dinding menjadikan seluruh tahanan geser pada tanah terkerahkan. Asumsi ini terjadi apabila permukaan dinding halus, sesuai dengan teori *Rankine* yang menganggap permukaan dinding halus sehingga tidak terjadi gesekan vertikal maupun horizontal. Namun ada bagian tanah yang tertekan secara lateral akibat bergeraknya dinding. Tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh tanah disebut dengan tekanan tanah pasif.

Apabila teori *Rankine* tidak dapat digunakan karena konstruksi yang rumit maka dapat digunakan teori tekanan tanah dari *Coulomb* yaitu dengan menggunakan cara grafis. Perbedaan dengan teori *Rankine*, teori *Coulomb* memperhitungkan besar gaya geser antara dinding dan tanah [6].

Berikut ini beberapa persamaan tekanan tanah aktif dan pasif untuk kondisi tanah tidak berkoheksi dan berkoheksi [7] :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (1)$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2 c K_a H \quad (2)$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (3)$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2 c K_p H \quad (4)$$

dengan:

- P_a = tekanan tanah aktif (t/m)
- P_p = tekanan tanah pasif (t/m)
- K_a = koefisien tanah aktif
- K_p = koefisien tanah pasif
- γ = berat volume tanah (t/m³)
- H = ketinggian tanah (m)
- c = nilai kohesi tanah (t/m²).

Nilai koefisien tanah aktif menurut Rankine

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (5)$$

Nilai koefisien tanah pasif menurut Rankine

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (6)$$

Nilai koefisien tanah aktif menurut Coulomb.

$$K_a = \left(\frac{\sin(\alpha - \phi)/\sin\alpha}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta) + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}}}} \right)^2 \quad (7)$$

Nilai koefisien tanah pasif menurut Coulomb

$$K_p = \left(\frac{\sin(\alpha + \phi)/\sin\alpha}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta) - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}}}} \right)^2 \quad (8)$$

dengan:

- K_a = koefisien tanah aktif
- K_p = koefisien tanah pasif
- ϕ = sudut geser tanah
- β = sudut kemiringan tanah
- α = sudut antara dinding penahan dengan tanah yang ditahan
- δ = arah sudut gaya P yang bekerja pada dinding

D. Perencanaan Balok Beton Bertulang

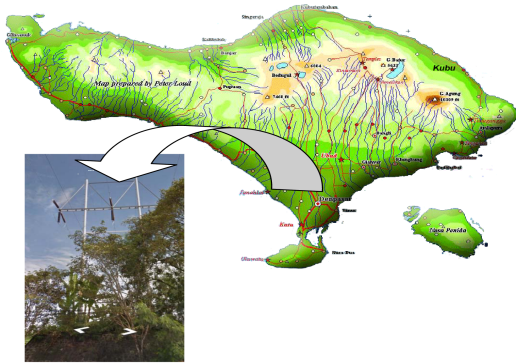
Perencanaan balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 mengenai Komponen Struktur Lentur Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yaitu satu sistem perhitungan struktur yang digunakan untuk merencanakan gedung pada daerah zone gempa tinggi [8].

III. METODE PENELITIAN

Suatu pekerjaan perencanaan dimulai dengan melakukan pengenalan masalah-masalah di lapangan dan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk melakukan analisis sehingga memperoleh hasil yang diharapkan. Setelah data-data yang diperlukan dinilai cukup maka kemudian dilanjutkan dengan perhitungan atau analisis. Untuk perencanaan dinding penahan tanah pada pondasi tower PLN akan direncanakan dengan menggunakan pondasi tiang bor. Dalam penelitian ini akan didesain ukuran pondasi tiang bor dengan diameter pondasi tiang bor yang digunakan dan kedalaman pemancangan beserta desain tulangnya.

A. Lokasi Penelitian

Lokasi pekerjaan pondasi yang direncanakan berada di Jalan Gatot Subroto Barat Denpasar seperti yang diperlihatkan pada Gambar-2. Dari lokasi tersebut diambil data-data yang diperlukan untuk perencanaan berupa data tanah dan dimensi pondasi yang telah ada sebelumnya.



Gambar-2. Lokasi penelitian.

B. Pengambilan dan Pengujian Contoh Tanah

Pengambilan contoh tanah (*sample*) dilakukan dengan mengebor di lokasi proyek. Contoh tanah diambil dari dua titik karena daerah yang direncanakan tidak terlalu luas. Selanjutnya contoh tanah dilakukan pengujian di laboratorium. Pengujian yang dilakukan adalah uji sifat fisik tanah dan uji mekanik. Pengujian fisik tanah meliputi pengujian kadar air dan berat volume, sedangkan pengujian mekanik berupa pengujian dengan uji geser langsung (*direct shear test*).

C. Perhitungan Kedalaman Pemancangan

Data untuk perencanaan dinding penahan tanah ini adalah : 1). data lokasi yang akan direncanakan dan 2). data tanah dari penyelidikan tanah yang dilakukan di lokasi proyek. Perhitungan desain penahan tanah dilakukan berdasarkan hasil dari penyelidikan tanah yang dilakukan. Dengan diketahuinya parameter dari tanah di lokasi proyek, diharapkan dapat dihasilkan konstruksi dinding penahan tanah yang aman. Perhitungan kedalaman pemancangan pondasi tiang bor (*bor piled*) untuk dinding penahan tanah, menggunakan konsep tekanan tanah lateral aktif dan pasif sesuai dengan metode dari *Coulomb* dan metode *Rankine*.

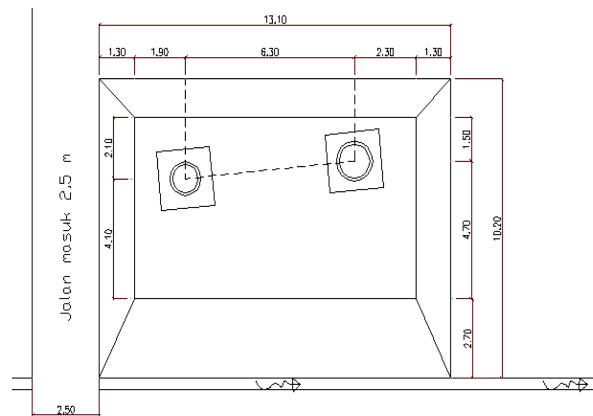
D. Perhitungan Penulangan Pondasi

Pondasi tiang bor didesain untuk memperoleh dinding penahan yang dapat menahan beban lateral tanah. Pondasi tiang bor ini dianalogikan sebagai

struktur balok, sehingga dalam perhitungannya digunakan analisis dan perencanaan untuk balok beton bertulang. Perencanaan balok untuk penahan tanah ini menggunakan peraturan SNI 03-2847-2002.

IV. HASIL ANALISIS

Berdasarkan dari data teknis di lapangan maka, diperoleh dimensi dari dinding penahan tanah yang telah ada yaitu areal pondasi dari tower adalah 10,2 × 13,1 m² dengan ketinggian dinding penahan tanah dari batu 3,5 m dan awalnya jalan masuk adalah 2,5 m seperti terlihat pada Gambar-3.



Gambar-3. Denah dinding penahan tanah existing.

A. Hasil Penyelidikan Tanah

Data tanah dasar diperoleh dengan melakukan pengeboran di lokasi proyek. Karena lokasi yang akan dianalisis tidak terlalu luas maka pengambilan sampel dilakukan pada 2 titik saja. Berikut ini adalah hasil penyelidikan tanah berdasarkan data penyelidikan di laboratorium seperti yang ditampilkan pada Tabel-1 dan Tabel-2.

Tabel-1. Hasil pengujian contoh tanah di laboratorium titik 1.

Data tanah	No. titik bor B1	
Kedalaman sampel (m)	2	4
Kedalaman muka air tanah (m)	-	-
Berat volume tanah (gr/cm ³)	1,610	1,550
Kohesi tanah (c) (kg/cm ²)	0,164	0,143
Sudut geser (φ)	18°	30°

Tabel-2 . Hasil pengujian contoh tanah di laboratorium titik 2.

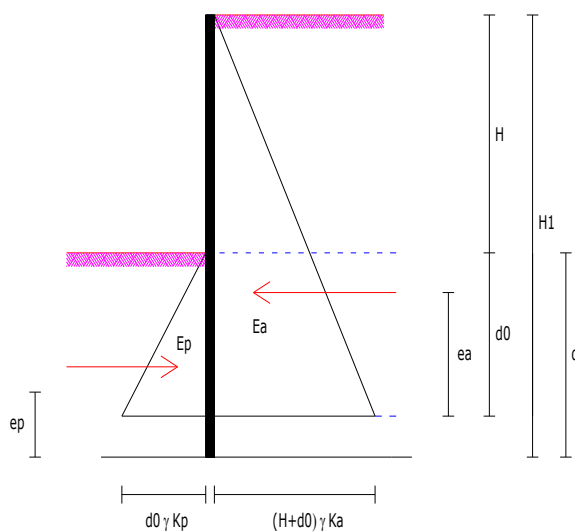
Data tanah	No. titik bor B2	
Kedalaman sampel (m)	2	4
Kedalaman muka air tanah (m)	-	-
Berat volume tanah (gr/cm ³)	1,600	1,540
Kohesi tanah (c) (kg/cm ²)	0,165	0,162
Sudut geser (φ)	15°	29°

Untuk perencanaan digunakan data tanah di kedalaman 4 meter dengan nilai berat volume (γ) =

1,6 gr/cm³. Nilai sudut geser (ϕ) = 30°, nilai kohesi tanah diabaikan (c) = 0, sehingga tanah dasar diasumsikan sebagai tanah berbutir kasar tanpa kohesi.

Untuk perencanaan digunakan data tanah di kedalaman 4 meter dengan nilai berat volume (γ) = 1,6 gr/cm³. Nilai sudut geser (ϕ) = 30°, nilai kohesi tanah diabaikan (c) = 0, sehingga tanah dasar diasumsikan sebagai tanah berbutir kasar tanpa kohesi.

B. Analisis Kedalaman Pemancangan



Gambar-4. Reaksi tanah aktif dan pasif yang bekerja pada tiang bor (*bored pile*).

Tekanan tanah lateral:

Kondisi tanah berbutir kasar tanpa lekatan (c)=0.

$$\begin{aligned} \gamma &= 1,6 \text{ gr/cm}^3 = 1600 \text{ kg/m}^3 \\ \phi &= 30^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_a &= \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= 3 \end{aligned}$$

Tinjau lebar 0,3 m tegak lurus bidang gambar.

$$\begin{aligned} H_1 &= 3,5 + d_0 \\ E_a &= 79,2 \times (3,5 + d_0)^2 \\ e_a &= 1/3 \times (3,5 + d_0) \\ E_p &= 720 \times d_0^2 \\ e_p &= 1/3 \times d_0 \\ \Sigma MC &= 0 \\ &= E_a \cdot e_a - E_p \cdot e_p \end{aligned}$$

Diperoleh nilai

$$d_0 = 3,3 \text{ m}$$

Panjang pemancangan:

$$\begin{aligned} d &= 1,2 \times 3,3 \text{ m} \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang total tiang pondasi :

$$\begin{aligned} H &= H_1 + d \\ &= 3,5 + 4 \\ &= 7,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan panjang (h) = 8 m

Momen Maksimum, bila :

$$\Sigma D_x = 0$$

Momen maksimum:

$$\begin{aligned} M_{\text{maks}} &= 2.384,248 \text{ kg m} \\ &= 23,842 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum :

$$\begin{aligned} D_{\text{maks}} &= 1.098,952 \text{ kg} \\ &= 109,895 \text{ kN} \end{aligned}$$

C. Data Untuk Analisis Dinding Beton Bertulang (*Bored Pile Wall System*)

Data Perancangan:

Dimensi Balok $h = 400 \text{ mm}$
 $b = 400 \text{ mm}$

Dimensi Kolom $h_c = 400 \text{ mm}$
 $b_c = 400 \text{ mm}$

Kuat tekan beton $f_c' = 20 \text{ Mpa}$

Beban merata WD = 22 kN/m

WL = 2,5 kN/m

WU = $1,2 \times 22 + 1,6 \times 22$
 = 30,4 kN/m

Momen $M_u (+) = 23,84 \text{ kNm}$

$M_u (-) = 23,84 \text{ kNm}$

Aksial $P_u = 72 \text{ kN}$

Geser $V_u = 109,89 \text{ kN}$

D. Penulangan Lentur

1) Perhitungan Kebutuhan Penulangan

Tulangan utama $\phi 16, f_y = 320 \text{ N/mm}^2$

Tulangan geser $\phi 10, f_y = 240 \text{ N/mm}^2$

Tebal selimut beton $d' = 30 \text{ mm}$

Tinggi efektif $d = 352 \text{ mm}$

Lokasi Garis Netral:

$$M_n = 2,98025 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 0,85 f_c' \times a \times b_w \times \left\{ d - \frac{1}{2} \times a \right\}$$

$$2,98025 \times 10^7 = 5.780c \times \{352 - 0,43c\}$$

Diperoleh nilai $c = 14,9168 \text{ mm}$.

Kebutuhan Tulangan :

$$A_s = 269,4345 \text{ mm}^2$$

Tulangan Minimum:

$$A_{s \text{ min } 1} = 616 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 491,9349 \text{ mm}^2$$

Tulangan Maksimum:

$$A_{s \text{ maks } 1} = 3.109,891 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ maks } 2 = 3.520 \text{ mm}$$

Karena $As \text{ min} < As < As \text{ maks}$ maka digunakan nilai $As = 269,4345 \text{ mm}^2$ (tulangan tunggal)

Jumlah tulangan yang diperlukan:

$$n = 1,3 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan tarik 3D16 dengan luas tulangan $As = 603,186 \text{ mm}^2$

2) Perhitungan Kapasitas Momen Negatif

Perhitungan pada kapasitas momen berdasarkan pada kuat leleh.

$$1,25f_y = 1,25 \times 320 = 400 \text{ MPa}$$

Faktor reduksi (ϕ) = 1

Asumsi digunakan tulangan tekan dan tarik, garis netral berada di antara tulangan tekan dan tarik. Untuk tulangan tekan dipakai minimal 2 tulangan menerus (3D16) dan tulangan tarik dianggap leleh sedangkan tulangan tekan belum leleh.

Menentukan lokasi garis netral:

$$As = 3 \text{ D16} = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$As' = 3 \text{ D16} = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$d' = 48 \text{ mm}$$

Persamaan kesetimbangan momen:

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b_w = 5.780 \text{ c}$$

$$C_s = 3,6 \times 10^5 \times \frac{c-4}{c^8}$$

$$T_s = As \times f_y = 241.274,316$$

$$C_c + C_s = T_s$$

$$5.780 \text{ c}^2 + 3,6 \times 10^5 \text{ c} - 17.521.274,684 = 0$$

Diperoleh nilai $c = 32,113 \text{ mm}$.

$$d' > c < d$$

$$48 \text{ mm} > 32,113 \text{ mm} < 352 \text{ mm}$$

Asumsikan garis netral berada di antara tulangan tarik dan tekan adalah benar. Cek tegangan baja tulangan:

$$f_s = 5.976,776 \text{ MPa}$$

$$f_s > f_y$$

$$5.976,776 \text{ MPa} > 400 \text{ MPa}$$

Asumsi bahwa tulangan tarik leleh adalah benar.

$$f_s' = 296,83 \text{ MPa}$$

$$f_s' < f_y$$

$$296,83 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

Asumsi bahwa tulangan tekan belum leleh adalah benar.

Kapasitas Momen Negatif:

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b_w = 185.613,14 \text{ N}$$

$$T_s = As \times f_y = 241274,316 \text{ N}$$

$$M_c = C_c \times \left(c - \frac{1}{2} \times \beta_1 \times c\right) = 4.455.124,213 \text{ Nmm}$$

$$M_s = T_s \times (d-c) = 77180517,122 \text{ Nmm}$$

$$M_s' = C_s \times (d' - c) = 59.375.230,515 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{kap}^-} = M_c + M_s' + M_s = 141.010.871,851 \text{ Nmm}$$

3) Kapasitas Momen Positif

$$As' = 3 \text{ D } 16 = 603,186 \text{ mm}$$

$$As = 3 \text{ D } 16 = 603,186 \text{ mm}$$

$$As \text{ maks } 1 = 3.109,891 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ maks } 2 = 3.520 \text{ mm}^2$$

Karena $As < As \text{ maks } 1$ dan $As < \text{maks } 2$, maka tulangan tekan (As') tidak ikut diperhitungkan dalam perhitungan momen positif.

Menentukan letak garis netral:

Diasumsikan tulangan tarik leleh.

$$C = T \rightarrow C_c = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b_w = 5780 \text{ c}$$

$$T_s = As \times f_y = 241274,316 \text{ N}$$

$$C_c = T_s = 5780 \text{ c} = 241.274,316$$

$$c = 41,743$$

Cek tegangan baja tulangan:

$$f_s = 2.229,768 \text{ MPa}$$

$$f_s > f_y$$

$$2.229,768 \text{ MPa} > 400 \text{ MPa}$$

Asumsi bahwa tulangan tarik leleh benar.

Kapasitas momen positif:

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b_w = 241.274,316 \text{ N}$$

$$T_s = As \times f_y = 241.274,316 \text{ N}$$

$$M_c = C_c \times \left(c - \frac{1}{2} \times \beta_1 \times c\right) = 4.455.124,213 \text{ Nmm}$$

$$M_s = T_s \times (d-c) = 77.180.517,122 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{kap}^+} = M_c + M_s = 81.635.641,335 \text{ Nmm}$$

E. Penulangan Geser

1) Daerah Sendi Plastis

Gaya geser yang harus ditahan tulangan

Panjang daerah sendi plastis $2h = 800 \text{ mm}$

$$M_{pr1} = M_{\text{kap}^-} = 141.010.871,85 \text{ Nmm} = 141,011 \text{ kNm}$$

$$M_{pr2} = M_{kap+} = 80.648.169,79 \text{ Nmm}$$

$$= 80,65 \text{ kNm}$$

$$l_n = 7600 \text{ mm} = 7,6 \text{ m}$$

$$V_c = 145,9165 \text{ kN}$$

$$V_c > \frac{1}{2} V_u$$

$$145,916 \text{ kN} > 55 \text{ kN}$$

$$V_c > V_u$$

$$145,916 \text{ kN} > 109,893 \text{ kN}$$

Dipakai nilai $V_c = 0$ dan $V_c = V_u = 109,893 \text{ kN}$

$$V_s = 199,8045 \text{ kN} \text{ karena } V_c = 0, \text{ maka:}$$

$$\frac{2}{3} \times (f_c')^{0,5} \times b_w \times d = 419,784 \text{ kN}$$

$$V_s < \frac{2}{3} \times (f_c')^{0,5} \times b_w \times d$$

$$199,8045 \text{ kN} < 419,784 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Spasi yang dibutuhkan untuk tulangan geser digunakan diameter (\emptyset) 10 mm satu rangkap, sehingga:

$$A_v = 157,080 \text{ mm}^2$$

$$S = 33,208 \text{ mm}$$

Spasi maksimum digunakan $s = 250 \text{ mm}$

2) Daerah Non Sendi Plastis

Gaya geser yang harus ditahan tulangan

$$V_u = 104,946 \text{ kN}$$

$$V_c < V_u$$

$$104,946 \text{ kN} < 109,893 \text{ kN}$$

→ membutuhkan tulangan geser

Spasi yang dibutuhkan (jarak spasi minimum) digunakan $s = 300 \text{ mm}$.

Mengecek syarat spasi maksimum

$$V_s < \frac{1}{3} (f_c')^{0,5} \times b_w \times d$$

Sehingga:

$$s < 600$$

$$300 \text{ mm} < 600 \text{ mm} (\text{OK})$$

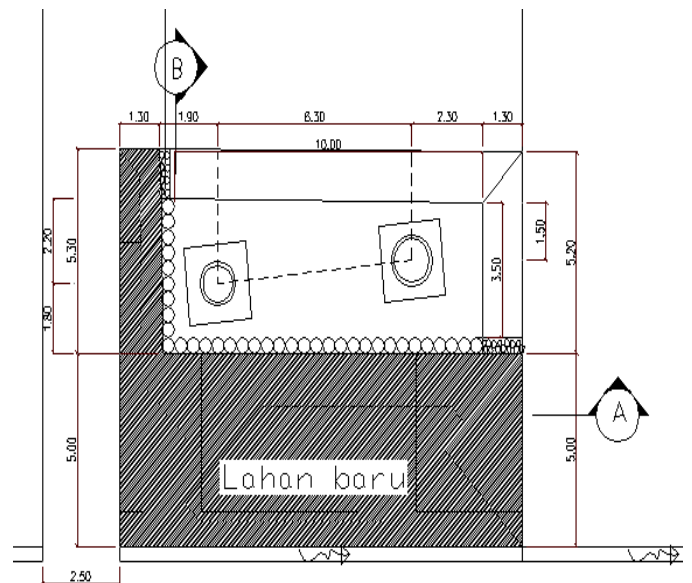
Tulangan yang dipakai adalah:

- Tulangan yang dipakai pada sisi penampang tarik 3 D 16
- Tulangan yang dipakai pada sisi penampang tekan 3 D 16
- Sengkang pada daerah tumpuan = P10 – 250 mm
- Sengkang pada daerah lapangan = P10 – 300 mm

F. Spesifikasi Dinding Penahan Tanah

Analisis daya dukung tanah dan struktur dinding penahan tanah memberikan area pondasi terkecil yang didapatkan dengan tetap memperhatikan stabilitas tanah dan beban tower menjadi sebesar $5,2 \times 10 \text{ m}^2$. Bahan DPT digunakan beton bertulang dinding susunan tiang bor (*bored piled*) diameter 40

cm dengan kedalaman pancang 4,5 m dari tanah eksisting dan tinggi DPT 3,5 m diatas tanah. Sehingga dibutuhkan struktur beton bertulang tiang bor (*bored piled*) panjang 8 m sebanyak 35 buah. Struktur beton bertulang tiang bor (*bored piled*) diameter 40 cm menggunakan tulangan utama longitudinal 6D16 (besi ulir 6 buah dengan diameter 16 mm) dan tulangan geser menggunakan $\emptyset 10$ -250 (besi polos diameter 10 mm dengan jarak 250 mm). Detail struktur DPT dan area baru yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar-5.



Gambar-5. Denah dinding penahan tanah setelah dipindahkan

V. KESIMPULAN

Kondisi stabilitas tanah di lapangan cukup baik dan memungkinkan untuk dilakukan pemindahan dinding penahan tanah dalam rangka mengurangi luas area lahan pondasi tower SUTT untuk memenuhi tuntutan pemilik tanah yang menginginkan lahan sebagian pada bagian depan (utara) yang rencananya diperuntukkan penggunaan bisnis dan bagian timur untuk pelebaran jalan akses masuk ke belakang lahan. Hasil analisis untuk perencanaan dinding penahan tanah dengan lahan yang lebih efisien didapatkan hasil, sebagai berikut:

- Pengurangan lahan pada pondasi tower dapat dilakukan dari eksisting $10,20 \times 13,10 \text{ m}^2$ menjadi $5,2 \times 6,3 \text{ m}^2$, sehingga didapatkan lahan baru di bagian utara (depan) lahan sebesar $5,0 \times 11,7 \text{ m}^2$ dan jalan akses di bagian timur dari 2,5 m menjadi 3,9 m.

- b. Untuk menjaga stabilitas tanah akibat pengurangan luas area pondasi tower, maka dibutuhkan dinding penahan tanah baru dengan menggunakan dinding beton bertulang tiang bor (*bored pile*) diameter 40 cm panjang 8 m sebanyak 35 buah.
- c. Spesifikasi dinding beton bertulang tiang bor (*bored piled*) mutu $f_c' 22,5$ MPa, tulangan utama longitudinal 6D16 (besi ulir diameter 16 mm) dan sengkang spiral Ø10-250 (besi polos diameter 10 mm).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunawan, R. *Pengantar Teknik Fondasi*. Cetakan Kelima. Yogyakarta: Penerbit Kanisius. 1991.
- [2] Das, B.M.. *Principles of Foundation Engineering*. Edisi Ke-2. Boston: PWS-KENT Publishing Company. 1990.
- [3] Costa, Y., John Gurgel, Carina Costa, and Olavo Santor Jr.. Deflection Analysis of Anchored Retaining Wall in Dune Sand. *Applied Mechanics and Materials*. Switzerland: Trans Tech Publication. 2013; Vol 405-408: 101-105.
- [4] Haghbin, M and Ghazavi, M.. Bearing Capacity of Footing on Pile-Stabilized Slope. *IJTS Transaction of Civil Engineering*. Iran: Shiraz University. Vol.37 (C2): 257-269.
- [5] Sulistyoy, T. dan Anwar, C. Analisis Penyebab Kelongsoran Retaining Wall Workshop PT.MHB KM. 13 Balikpapan. *Jurnal Teknologi Terpadu*. Politeknik Negeri Balikpapan. 2015: 1 (3).
- [6] Redana, I Wayan. *Teknik Pondasi*. Denpasar: Universitas Udayana. 2010.
- [7] Craig, R.F. *Mekanika Tanah*. Budi Susilo S. Edisi ke-4. Jakarta: Erlangga. 1984.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton SNI 03-2847-2002*. Bandung: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah Bandung. 2002.