

DEFORMASI BOX CULVERT AKIBAT TIMBUNAN JALAN PADA TANAH LUNAK

Emilia Rossita¹, Eka Priadi², Aprianto³

¹) Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak

^{2,3}) Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak

Email: emiliarossita9@gmail.com

ABSTRAK

Dalam kasus yang terjadi dilapangan dimana box culvert mengalami gangguan kestabilan sehingga terjadilah geser dan guling. faktor yang mempengaruhi kegagalan konstruksi adalah penambahan beban pada sekitar lokasi. beban tersebut menimbulkan tegangan pada tanah. Semakin besar tegangan yang terjadi maka semakin besar pula deformasi yang terjadi, sehingga perlu dianalisa tekanan dan tegangan pada konstruksi *Box Culvert* ini. Pada proses analisa *Box Culvert* akan digunakan perhitungan tekanan tanah serta menggunakan program Plaxis 8.6 untuk mengetahui besarnya deformasi dan faktor keamanan tanah pada setiap kondisi beserta penyebab keruntuhannya dikarenakan *box culvert* tidak mampu menahan gaya yang tekanan yang ada pada lokasi tersebut. Dari hasil 2 analisa yang dilakukan menambahkan tiang pada *box culvert* tidak dapat mengakomodasi terjadinya ketidakstabilan terhadap konstruksi karena tekanan lateral yang terjadi pada tiang lebih besar di bandingkan dengan daya dukung lateral pada tiang. Deformasi yang terjadi pada tanah sebelum penambahan tiang adalah 3,226 cm dengan faktor kermanan 1,6064, deformasi yang terjadi dengan adanya tiang sebesar 2,250 cm dengan faktor kermanan 1,7747 dari hasil analisa yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan tiang tidak dapat mengakomodasi terjadinya keruntuhan tanah pada tanah lunak

Kata kunci: Beban timbunan, *Box Culvert*, Deformasi, faktor kermanan, Keruntuhan, *Plaxis Professional 8.6*, tekanan tanah.

ABSTRACT

In the case that occurs in the field where the box culvert is destabilized so that shears and rolls occur. The factor that influences construction failure is the additional load around the site. the load causes stress on the ground. The greater the stress, the greater the deformation that occurs, so it is necessary to analyze the pressure and stress in this Box Culvert construction. In the Box Culvert analysis process, the calculation of earth pressure will be used and the Plaxis 8.6 program to determine the amount of deformation and the soil safety factor in each condition and the cause of its collapse because the box culvert is unable to withstand the forces that exist in that location. From the results of 2 analyzes carried out adding piles to the box culvert cannot accommodate the occurrence of instability to the construction because the lateral pressure that occurs on the pile is greater than the lateral bearing capacity of the pile. The deformation that occurred in the soil before the addition of the pile was 3,226 cm with a safety factor of 1.6064, the deformation that occurred in the presence of the pile was 2.250 cm with a safety factor of 1.7747. soft soil

Keywords: Embankment load, *Box Culvert*, Deformation, safety factor, failure, *Plaxis Professional 8.6*, earth pressure.

I. PENDAHULUAN

Kalimantan Barat merupakan sebuah provinsi yang berbatasan langsung dengan negara Malaysia, salah satunya adalah dusun Aruk, Desa Sebunga, kecamatan Sajingan Besar, Kabupaten Sambas. Aruk merupakan salah satu wilayah yang berbatasan langsung dengan negara tetangga Malaysia dan kemudian dikembangkan menjadi

Kawasan pos lintas batas negara (PLBN). Pada daerah perbatasan akses transportasi berperan penting dalam membantu kegiatan masyarakat serta mendukung aktivitas lintas perbatasan dua negara, salah satu akses jalan untuk menuju ke PLBN Aruk adalah melalui Jalan simpang Tanjung – simpang Take. Namun pada kondisi jalan terdapat masalah yaitu terjadinya deformasi pada struktur *Box Culvert* akibat adanya timbunan jalan. Jalan Simpang Tanjung – Simpang Take memiliki jenis

tanah dasar lunak sehingga mengakibatkan konstruksi yang ada pada jalan tersebut mengalami deformasi atau pergerakan,

Pada kasus yang terjadi di lapangan dimana timbunan sebelumnya mengalami penurunan sehingga dilakukan penimbunan Kembali untuk menyesuaikan elevasi yang telah ditentukan, namun dengan bertambahnya volume timunan yang berada diatas tanah lunak mengakibatkan deformasi tanah yang berpengaruh terhadap stabilitas *Box Culvert*. Tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah seharusnya diperkuat dengan adanya fondasi agar mampu menahan struktur diatasnya namun selain itu perhitungan terhadap tekanan akibat beban timbunan juga harus diperhatikan untuk menghindari terjadinya kegagalan dalam konstruksi

Dalam perencanaan jalan tidak hanya memperhatikan aspek perencanaan geometrik dan perkerasan jalan saja, tetapi juga perlu menganalisa dampak dari beban yang diberikan terhadap konstruksi yang berada pada tanah dasar lunak yang memiliki daya dukung yang rendah

Dari latar belakang diatas maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengetahui deformasi pada *Box Culvert* akibat timbunan jalan pada tanah lunak.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tanah timbunan terhadap stabilitas box culvert yang berada di sekitar timbunan yang berada tanah dasar lunak serta memperhitungkan tegangan serta tekanan yang timbul akibat tanah timbunan terhadap konstruksi yang didukung dengan menggunakan *software Plaxis 8.6*

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Tekanan Tanah Lateral

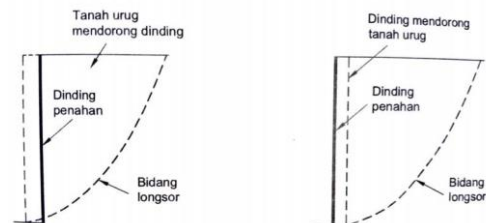
Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat gaya dorongan tanah dibelakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan tanah lateral dipengaruhi oleh perubahan posisi (displacement) dari dinding penahan dan karakteristik tanahnya (Hardiyatmo, 2010). Analisa perhitungan tekanan tanah lateral bertujuan untuk perancangan suatu dinding penahan tanah dan struktur penahan yang lainnya yang sangat memerlukan perhitungan dan perencanaan yang akurat.

Tekanan tanah lateral merupakan sebuah parameter perencanaan yang penting untuk berbagai persoalan atau perencanaan Teknik fondasi, dinding penahan tanah maupun konstruksi konstruksi lain yang berada didalam tanah, semuanya harus diperhitungkan, sebagai analisa rencana ataupun stabilitas terhadap konstruksi

Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya. Sedangkan, tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah lateral yang tekanan yang mendorong tanah urug

Gambar 1. Tekanan Aktif dan Tekanan Pasif
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)



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

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Kohesif

berdasarkan teori Rankine, nilai gaya tekanan tanah aktif dan pasif didefinisikan dalam Persamaan berikut.

$$P_a = 0.5 H 2\gamma K_a - 2 c H \sqrt{K_a} \quad (3)$$

$$P_p = 0.5 H 2\gamma K_p + 2 c H \sqrt{K_p} \quad (4)$$

keterangan:.,

P_a = tekanan tanah aktif

P_p = tekanan tanah pasif

γ = berat volume tanah

K_a = koefisien permeabilitas tanah aktif

K_p = koefisien permeabilitas tanah pasif

H = tinggi tanah urug

c = kohesi tanah urug

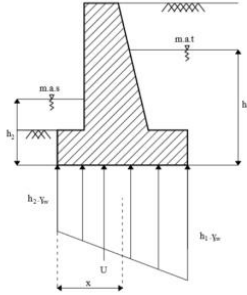
Tekanan tanah lateral juga dapat diakibatkan beban merata pada tanah urug yang didefinisikan pada Persamaan berikut ini

$$P_a = Q H K_a$$

(6)

Tekanan Angkat (Uplift)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air (pilar jembatan, dinding penahan tanah dan lain-lain) atau muka air tanah yang tinggi, akan terjadi tekanan hidrostatik yang mengurangi besarnya angka faktor keamanan



Gambar 2. Pengaruh tekanan uplift pada dinding penahan tanah.

(Sumber: Chairullah 2013)

Besarnya tekanan uplift dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$U = 0,5 \times B \times h \times \gamma_w \quad (7)$$

Box Culvert

Box culvert adalah salah satu jenis dinding penahan tanah yang berbentuk persegi empat. *Box Culvert* sebuah bangunan yang juga berfungsi saluran irigasi atau pembuangan melewati bawah jalan atau kereta api. Sesuai dengan Dirjen Bina Marga tentang kriteria desain jembatan standar tahun 2017 sesuai bentang ekonomis dan kondisi aliran air dibawahnya apabila *Box culvert* dengan tipe (single, double, triple) tidak direncanakan secara khusus maka ukuran yang digunakan untuk bentang adalah 6 s/d 10 meter, namun harus disesuaikan kembali dengan kondisi dilapangan.

Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Pergeseran

Gaya yang dapat menahan dinding penahan tanah dari pergeseran adalah adanya gesekan tanah dengan dasar fondasi serta tekanan tanah pasif didepan dinding penahan tanah. Faktor aman terhadap pergeseran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Fgs = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1,5 \quad (8)$$

Untuk tanah dengan nilai $c > 0$ dan $\varphi > 0$

$$\sum Rh = ca \times B + W \tan \delta b \quad (9)$$

keterangan:

$\sum Rh$ = Tahanan Dinding penahan Tanah terhadap pergeseran

W = Berat sendiri dinding penahan tanah

δb = Sudut geser antar tanah dan dasar dinding penahan tanah

ca = kohesi antara tanah dan dasar dinding

c = kohesi tanah dasar

B = Lebar fondasi atau dinding penahan tanah

$\sum Ph$ = gaya horizontal

$\tan \delta b$ = koefisien geser tanah dasar dan fondasi

Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan

Stabilitas dinding penahan tanah perlu diperhitungkan terhadap penggulingan. Tekanan tanah lateral pada belakang dinding penahan tanah dapat menggulingkan dinding penahan tanah dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi.

Adapun faktor aman terhadap penggulingan dapat dihitung seperti pada Persamaan berikut.

$$Fgl = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} > 2 \quad (10)$$

Keterangan :

$\sum Mw$ = Momen penahan penggulingan (kNm)

$\sum Mgl$ = Momen pengguling (kNm)

Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Stabilitas dinding penahan tanah terhadap kapasitas dukung ditinjau agar mengetahui kedudukan dinding penahan tanah dapat stabil diatas tanah dasar. Perhitungan nilai stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah dihitung seperti Persamaan berikut.

1. Persamaan Hansen (1970) & Vesic (1975)

Kapasitas dukung ultimit (q_u) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen

(1970) dan Vesic (1975) untuk perhitungan

beban miring serta eksentrisitas:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma \quad (11)$$

$$xe = \frac{\sum Mw - \sum Mgl}{\sum W} \quad (12)$$

$$e = B/2 - xe \quad (13)$$

$$B' = B - 2e \quad (14)$$

Dengan:

ΣMW = Momen yang melawan penggulingan
 ΣMGI = Momen yang mengakibatkan penggulingan
 ΣM = Total berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan
 e = Eksentrisitas beban
 B = Lebar dasar fondasi
 B' = Lebar efektif
 Jika tekanan fondasi ke tanah terbagi rata maka dapat dihitung

$$q' = \frac{V}{B'} \quad (15)$$

Dengan:

q' = Tekanan akibat beban struktur (kN/m²);

V = Beban vertikal total (kN);

B' = Lebar efektif (m)

Setelah didapat q' maka dapat dihitung faktor aman:

$$F = \frac{qu}{q'} \geq 3 \quad (16)$$

Fondasi tiang pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang terbuat dari kayu, beton dan baja, yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke dasar tanah sebagai penunjang beban yang terletak pada kedalaman tertentu sesuai dengan perencanaan Panjang fondasi tiang.

Daya Dukung Tiang Dari Uji Penetrasi Standar (SPT)

Penentuan daya dukung fondasi tiang dengan menggunakan data N-SPT dapat dilakukan dengan metoda analitis pada penelitian ini menggunakan Metode Mayerhof (1976)

Metode Meyerhof (1976)

Meyerhof (1956) menyarankan dalam menganalisa serta memperhitungkan daya dukung tiang pancang dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Qu = 40 Nb \cdot Ap + 0,2 N \cdot As \quad (17)$$

Keterangan :

Qu = daya dukung ultimit tiang

Nb = N-SPT pada dasar tiang

Ap = penampang dasar tiang

As = selimut tiang

N = N-SPT rata-rata

nilai batas untuk Nb adalah 40 dan nilai batas untuk 0,2 N adalah 10 ton/m².

Mayerhof (1976) memberikan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang sebagai berikut:

$$q_p = 0,4 \cdot p_a \cdot N_{60} \cdot \frac{L}{D} \leq 4 \cdot p_a \cdot N_{60} \quad (18)$$

Beban lateral

Beban lateral merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Beban beban yang memiliki arah horizontal contohnya beban angin, beban gempa, beban tekanan arah lateral, beban hempasan ombak atau kapal pada isi struktur bangunan dan lain lain.

Metode Broms

Metoda perhitungan adalah dengan menggunakan diagram tekanan tanah yang disederhanakan dengan mengasumsikan bahwa sepanjang kedalaman tiang atau tahanan tanah telah mencapai nilai ultimate

Untuk tiang dalam tanah kohesif pengkaitan tipe tiang dan jepitan tiang berdasarkan factor tak berdimensi βL menurut Broms adalah sebagai berikut:

$$\beta = \left(\frac{kh \cdot d}{4 \cdot Ep \cdot Ip} \right)^{1/4} \quad (19)$$

$$Kh = k1 / 1,5 \quad (20)$$

Metode Broms (1946) pula dapat digunakan untuk perhitungan tahanan maksimum yang diakibatkan oleh gaya lateral baik rigid piles maupun long piles yang berada pada lapisan tanah kohesif atau granular.

$$Hu = \frac{My}{e + 3\frac{d}{2} + \frac{1}{2}f} \quad (21)$$

$$F = \frac{HU}{9 \cdot Cu \cdot D} \quad (22)$$

Keterangan :

Hu = Daya dukung tiang terhadap tekanan lateral

My = Momen maksimum yang dapat ditahan (KN.M)

d = Diameter tiang (m)

e = Jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

f = Jarak kedalaman tiang dimana gaya geser sama dengan nol (m)

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga dapat digunakan untuk mencari deformasi atau tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh pengaruh beban dan gaya.

Aplikasi *Plaxis Professional 8.6*

Program *Plaxis Professional 8.6* adalah program analisis geoteknik yang dapat digunakan untuk menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi ataupun konstruksi dalam bidang geoteknik, seperti daya dukung tanah, factor keamanan, dll.

Lokasi dan Pengambilan Data Penelitian

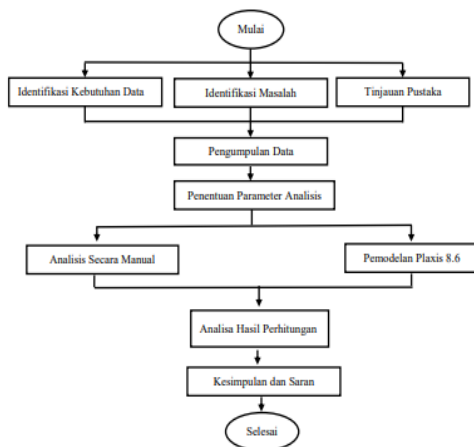


Gambar 3. Ruas Simpang Take - Simpang Tanjung, Prov. Kalimantan Barat (sumber: Google Maps, 2021)

Data Tanah Dasar

Parameter tanah hanya mencakup beberapa kedalaman saja sehingga perlu dikoreksi untuk nilai parameter tanah per lapisan tanah dengan mengkolerasikan terhadap nilai N-SPT dan jenis tanahnya. Data parameter hasil korelasi tersebut akan digunakan untuk keperluan *input* parameter pada program *Plaxis 8.6* maupun perhitungan manual.

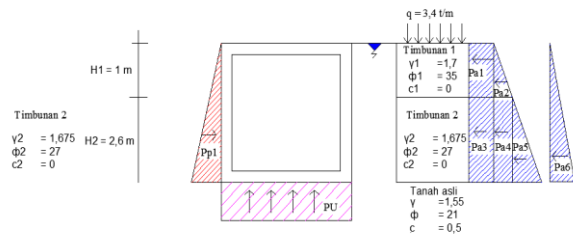
Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Bagan alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah gambar gaya yang bekerja pada *box culvert*



Gambar 5. Gaya yang bekerja terhadap *Box culvert* (Sumber: Hasil olahan)

Perhitungan Gaya Horizontal

Tabel 1. Tekanan tanah aktif (Sumber: Hasil Olahan)

No	Gaya (t)	Lengan Momen (m)	Momen (t.m)
pa1	1,133	$1/2 H_1 = 1/2 \times 1 = 0,5$	0,567
pa2	0,283	$1/3 H_1 = 1/3 \times 1 = 0,333$	0,094
pa3	3,319	$1/2 H_2 = 1/2 \times 2,6 = 1,3$	4,315
Pa4	2,157	$1/2 H_2 = 1/2 \times 2,6 = 1,3$	2,805
Pa5	2,126	$1/3 H_2 = 1/3 \times 2,6 = 0,87$	1,845
Pa6	6,48	$1/2 H = 1/2 \times 3,6 = 1,8$	11,664
ΣPa	15,5	ΣMa	21,288

Tabel 2. Tekanan tanah Pasif (Sumber: Hasil Olahan)

No.	Gaya (t)	Lengan Momen (m)	Momen (t.m)
Pp	28,903	$1/3 \times H = 1/3 \times 3,6 = 1,2$	34,684

Perhitungan Gaya Vertikal

Tabel 3. Tekanan Akibat Berat Sendiri Struktur (Sumber: Hasil Olahan)

No.	Gaya (t)	Lengan Momen (m)	Momen (t.m)
W1	2,592	$1/2 \times (0,3 + 3 + 0,3)$	4,666
W2	2,160	$1/2 \times 0,3 = 0,15$	0,324
W3	2,160	$(1/2 \times 0,3) + 3 + 0,3 = 3,45$	7,452
W4	2,592	$1/2 \times (0,3 + 3 + 0,3) = 1,80$	4,666
ΣW	9,504	ΣMw	17,107

Tabel 4. Tekanan Gaya Uplift
(Sumber: Hasil Olahan)

No.	Gaya	Lengan Momen	Momen
Gaya	(t)	(m)	(t.m)
Pu	6,48	$1/3 \times H = 1/3 \times 3,6 = 1,2$	7,776

Stabilitas Box Culvert

Stabilitas terhadap Penggulingan

$$F_{GL} = \frac{\sum Mw + \sum Mp}{\sum Ma + \sum Mu} \geq F_s \text{ ijin}$$

$$= \frac{17,107 + 34,68}{21,228 + 7,776}$$

$$= 1,781 < 2 \dots \text{ Tidak aman terhadap guling}$$

Stabilitas terhadap Pergeseran

Untuk mengecek kekuatan *Box Culvert* terhadap geser, dengan menganggap dasar dinding sangat kasar, sehingga sudut gesek $\delta_b = \theta$ dan adhesi $C_d = C_2$ sehingga :

$$\Sigma H = \Sigma Pa$$

$$= 15,5 \text{ t/m}^2$$

$$\Sigma V = 9,504 \text{ t/m}^2$$

$$R_h = \Sigma V \tan \delta_b$$

$$= 9,504 \times (\tan 27^\circ)$$

$$= -31,113$$

$$F_s = \frac{R_h + P_p}{\Sigma H} > F_s \text{ ijin}$$

$$= \frac{-2,209}{15,5} = -0,142 < 1,5 \text{ Tidak aman}$$

terhadap geser

Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

Dalam hal ini akan digunakan persamaan Hansen. Pada hitungan akan dianggap fondasi terletak dipermukaan dimana

$$X_e = \frac{(\sum Mw + \sum Mp) - (\sum Ma + \sum Mu)}{\Sigma V}$$

$$= \frac{51,791 - 27,302}{9,504}$$

$$= 2,391 \text{ m}$$

$$e = \frac{B}{2} - X_e = \frac{3,6}{2} - 2,391 = -0,591 < B/6 =$$

0,6 meter
lebar efektif:

$$B' = B - 2e$$

$$= 3,6 - 2(-0,591)$$

$$= 4,782 \text{ meter}$$

$$A' = B' \times 1$$

$$= 4,782 \text{ meter}$$

Gaya horizontal: $H = 16,272$ ton dan gaya vertikal $V = 9,504$ ton. Dari tabel 2.6 tentang factor kapasitas daya dukung dapat diambil nilai sebagai berikut: $\theta = 20^\circ$ $N_c = 14,83$; $N_q = 6,4$; $N_\gamma = 2,95$

$$i_q = \left(1 - \frac{0,5 H}{V + A' C_d \cot \theta}\right)^5$$

$$= \left(1 - \frac{0,5 \cdot 15,5}{9,502 + 4,782 \cdot 0,5 \cot 20}\right)^5$$

$$= 0,113$$

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c \tan \theta}$$

$$= 0,113 - \frac{(1 - 0,113)}{23,94 \tan 20}$$

$$= 0,204$$

Catatan : $N_c \tan \theta = N_q - 1$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0,7 H}{V + A' C_d \cot \theta}\right)^5$$

$$= \left(1 - \frac{0,7 \cdot 15,5}{9,502 + 4,782 \cdot 0,5 \cot 20}\right)^5$$

$$= -0,006$$

Kapasitas dukung ultimit untuk fondasi di permukaan menurut Hansen ($D_f = 0$, Faktor kedalaman $d_c = d_q = d_\gamma = 1$, faktor bentuk $S_c = S_q = S_\gamma = 1$)

$$q_u = i_c c N_c + i_\gamma 0,5 B' \gamma_2 N_\gamma$$

$$= 0,204 \times 0,5 \times 14,83 + (-0,006) \times 0,5 \times$$

$$4,782 \times 1,55 \times 2,95$$

$$= 1,448 \text{ t/m}^2$$

Bila dihitung dengan berdasarkan lebar efektif, sehingga tekanan ke tanah dasar terbagi rata secara sama, maka:

$$q' = \frac{V}{B'}$$

$$= \frac{9,502}{4,782}$$

$$= 1,987$$

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung:

$$F_k = \frac{q_u}{q'}$$

$$= \frac{1,448}{1,987}$$

$$= 0,728 < 3 \text{ tidak aman.}$$

Menghitung Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

- Mencari Nilai M-max 1 Buah Tiang Pancang, Tahanan Momen

$$W = \frac{I_p}{D/2}$$

$$= \frac{14545,45}{20/2}$$

$$= 1454,54 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= F_b \times w \\
 &= 160 \times 1454,54 \text{ Kg.cm} \\
 &= 232727,273
 \end{aligned}$$

• Menentukan Nilai HU

$$H_u = \frac{M_y}{e + 3\frac{d}{2} + \frac{1}{2} f}$$

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{H_u}{9.C_u.D} \\
 &= \frac{H_u}{9.1,34.20} \\
 &= \frac{H_u}{242,4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= H_u \times \frac{1}{242,4} \\
 &= 0,00412 \times H_u
 \end{aligned}$$

Maka:

$$H_u = \frac{232727,273}{0 + 3\frac{20}{2} + \frac{1}{2} (0,00412 \times H_u)}$$

$$H_u (30 + 0,00206 \times H_u) = 30,0020$$

$$30 \times H_u + 0,00206 \times H_u^2 - 30,0020 = 0$$

$$= \frac{30 \times H_u^2 + 0,00206 \times H_u - 30,002}{0,00206}$$

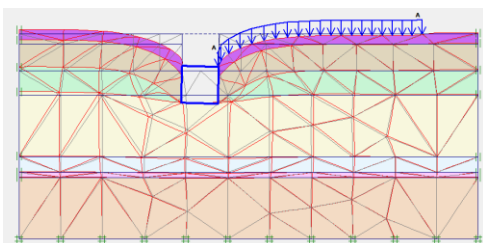
$$= H_u^2 + 30,002 \times H_u - 11826182 = 0$$

Selanjutnya untuk menentukan nilai H_u , maka digunakan rumus abc (akar persamaan kuadrat)

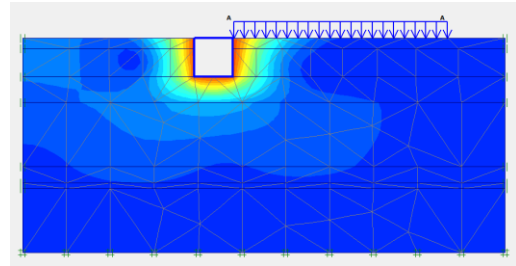
$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{-b \pm \sqrt{(b^2 - 4ac)}}{2a} \\
 &= \frac{-30,0020 + \sqrt{(30,0020^2 - 4.1.(-11826182))}}{2 \times 1} \\
 &= 14991,75 \text{ kg} \approx 14,99 \text{ t (nilai } H_u \text{ yang digunakan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= \frac{-b \pm \sqrt{(b^2 - 4ac)}}{2a} \\
 &= \frac{-30,0020 - \sqrt{(30,0020^2 - 4.1.(-11826182))}}{2 \times 1} \\
 &= -15051,76 \text{ kg} \approx -15,052 \text{ t}
 \end{aligned}$$

Analisa Deformasi dengan Program *Plaxis Professional 8.6*



Gambar 6. Jaringan Elemen Terdeformasi Kondisi *Box Culvert* Tanpa Tiang
(Sumber: Hasil olahan)

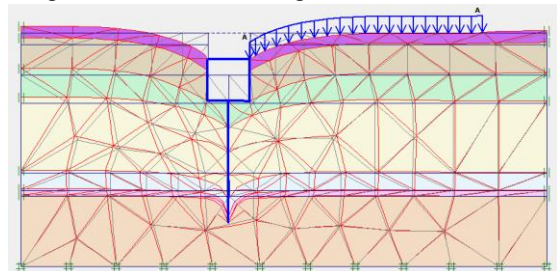


Gambar 7. Perpindahan total pada tanah tanpa tiang
(Sumber: Hasil olahan)

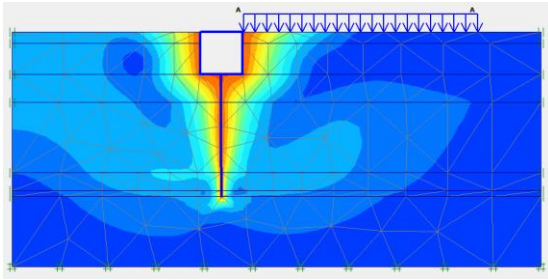
Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.6064

Gambar 8. Hasil Kalkulasi faktor keamanan pada tanah tanpa tiang
(Sumber: Hasil olahan)

Sebelum diberi perkuatan dengan mini pile besarnya pergeseran yang terjadi adalah $32,26 \times 10^{-3}$ m atau sebesar 3,226 cm dengan faktor keamanan 1,6064, terlihat dari warna gradasi bahwa perpindahan terbesar adalah dibagian sisi kiri dan kanan serta pada bagian bawah *box culvert* karena faktor keamanan kurang dari 2 sehingga dilakukan perhitungan Kembali dengan menambahkan tiang



Gambar 9. Jaringan Elemen Terdeformasi Kondisi *Box Culvert* dengan Tiang
(Sumber: Hasil olahan)



Gambar 10. Perpindahan total pada tanah dengan penambahan tiang
(Sumber: Hasil olahan)

Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.7747

Gambar 11. Hasil Kalkulasi faktor keamanan pada tanah dengan tiang
(Sumber: Hasil olahan)

Total pergeseran tanah dengan adanya tiang adalah $22,50 \times 10^{-3}$ atau sebesar 2,250 cm dengan faktor keamanan sebesar 1,7747. Setelah diberi tiang pada box culvert nilai faktor keamanan meningkat namun tetap kurang dari 2 artinya tidak aman. dapat dilihat dari gambar 9 dan 10 dimana tiang mengalami ketidakstabilan

IV KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada analisa perhitungan stabilitas box culvert menunjukkan bahwa box culvert tidak mampu menahan gaya geser, gaya guling dan daya dukung tanah, sehingga ditambah perkuatan dengan pemasangan mini pile.
2. Pada analisa dengan menggunakan program Plaxis Professional 8.6 pada kondisi tanpa tiang deformasi yang terjadi 3,226 cm dan dengan penambahan tiang deformasi yang terjadi sebesar 2,250 cm pada kedua kondisi tersebut deformasi yang terjadi tidak terlalu berbeda jauh, deformasi tanah dengan perkuatan jauh lebihkecil dibandingkan tanpa perkuatan

namun kedua pemodelan memiliki faktor keamanan kurang dari 2.

3. Berdasarkan point kedua dapat disimpulkan bahwa penyebab terjadinya deformasi pada box culvert adalah karena pada tanah asli tidak mampu menahan beban timbunan yang ada. Beban timbunan yang ada menyebabkan pertambahan tegangan geser sehingga kuat geser pada tanah asli terlampaui

REFERENSI

- Bowles, Joseph E., (1991), *Analisa dan Desain Pondasi II*, Erlangga, Jakarta. Craig, R. F. dan Soepandji, Budi Susilo., (1987), *Mekanika Tanah* jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., (1995), *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*
- SNI 8460-2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik
- Soedarmo, G. Djatmiko dan Purnomo, S. J. Edy., (1997), *Mekanika Tanah I*,
- Surendro, Bambang., (2015), *Rekayasa Fondasi (Teori dan Penyelesaian Soal)*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B., (1993), *Mekanika Tanah dalam Praktik Rekayasa*, Erlangga, Jakarta.
- Yusmal, Redi. (2020). "Evaluasi Box Culvert Pada Saluran Utama Irigasi Batang Anai". *JURNAL TEKNOLOGI Fakultas Teknologi Industri*, Volume 4, No.1