



JURNAL FORUM MEKANIKA

Volume 5 - Nomor 1

Mei 2016

ISSN : 2356-1491

STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN
PADA PEMBUATAN BATA BETON PEJAL

INDAH HANDAYASARI; GITA PUSPA ARTIANI; DESI PUTRI

TINJAUAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DENGAN PENAMBAHAN TALI TAM-
BANG PLASTIK

ABDUL ROKHMAN; DYAH PRATIWI KUSUMASTUTI

STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN
PADA PEMBUATAN BATA BETON PEJAL

IRMA SEPRIYANNA; WENDY FRAYOGA DAMANIK

PENERAPAN KONSEP ZERO RUNOFF DALAM MENGURANGI VOLUME LIMPASAN PER-
MUKAAN (PERUMAHAN PURI BALI, DEPOK)

ENDAH LESTARI

PERILAKU KOLOM KOMPOSIT TABUNG BAJA BERISI BETON NORMAL AKIBAT BEBAN
AKSIAL SENTRIS DAN EKSENTRIS

DESI PUTRI

ANALISA PENYEBAB DAN AKIBAT PERUBAHAN KONTRAK PEKERJAAN (CONTRACT
CHANGE ORDER) TERHADAP BIAYA PADA PROYEK TRANSMISI

DIAH MARGARETA; ANI FIRDA; YASMID

STUDI KASUS PERUBAHAN LETAK DAN PONDASI TOWER CRANE STATIC MENJADI
TOWER CRANE CLIMBING PADA PROYEK AT DISTRICT 8 SENOPATI JAKARTA SELATAN

HASTANTO SM; RATU GUDAM FADHEVI



SEKOLAH TINGGI TEKNIK – PLN (STT-PLN)

JURNAL FORUM MEKANIKA

VOL. 5 NO. 1

HAL. 1 - 60

JAKARTA, MEI 2016

ISSN : 2356-1491

ANALISIS PERBAIKAN PERGESERAN DINDING CONTIGUOUS BORED PILE DENGAN PERMODELAN PLAXIS V 8.2 STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN BASEMENT CIPUTRA INTERNATIONAL PHASE 1 JAKARTA BARAT

IRMA SEPRIYANNA

Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : irma_sepriyanna@yahoo.com

WENDY FRAYOGA DAMANIK

Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstrak

Semakin sedikitnya lahan yang tersedia, membuat pembangunan beralih ke arah vertikal dengan banyak dibangun bangunan-bangunan tinggi untuk menggantikan bangunan-bangunan yang lebar. Salah satu fasilitas yang harus disiapkan pada bangunan tinggi yaitu tempat parkir kendaraan. Tempat parkir yang disiapkan agar memenuhi permintaan tempat parkir yang luas dan aman diletakkan pada bagian bawah tanah atau basement parking. Berdasarkan analisis pergeseran, regangan, tegangan, gaya aksial, gaya geser, gaya moment dan faktor keamanan (safety factor) dinding contiguous bored pile, yang kemudian dilakukan perhitungan desain kekuatan anchor dan panjang anchor yang dibutuhkan untuk perbaikan pergeseran yang terjadi pada proyek pembangunan basement Ciputra International Phase 1 diperoleh perbaikan pergeseran kondisi 2 (galian 1) maksimum sebesar 1,65 m, tegangan -480,56 kN/m, regangan 261,16 %, gaya aksial dinding -147,04 kN/m, gaya geser -80,304 kN/m, momen -180,01 kNm/m dan faktor keamanan 4.7650.

Kata kunci : Dinding Contiguous Bored Pile, Angkur, Program PLAXIS.

Abstract

Fewer land available, making the switch to vertical development with lots of built high-rise building to replace the buildings that wide. One of the facilities must be put in a tall building is the parking of vehicles. Park is prepared to meet the demands of a large parking area and safely placed in the basement or a basement parking. Based on analysis of the shift, strain, stress, axial force, shear force, force moment and the safety factor (safety factor) wall contiguous bored pile, which then calculate the design strength of anchor and length of anchor needed to repair the shift to development projects basement Ciputra International Phase 1 improvements obtained shift condition 2 (excavation 1) a maximum of 1.65 m, the voltage -480.56 kN / m, strain 261.16% -147.04 wall axial force kN / m, -80.304 shear force kN / m, the moment of the KNM -180.01 / m and a safety factor 4.7650.

Keywords: Contiguous Bored Pile Wall, Anchor, PLAXIS Program

I. Latar Belakang

Meningkatnya angka pertumbuhan penduduk dan kebutuhan akan tempat tinggal juga meningkat menyebabkan pembangunan hunian atau tempat tinggal dibangun secara vertikal dalam bentuk apartemen, maka dalam hal ini CIPUTRA GROUP bersama anak perusahaan bernama PT. CIPUTRA PURI TRISULA membangun sebuah hunian Apartemen Ciputra International Phase 1 dimana terdiri dari 2 tower 34 lantai dan 3 lantai basement sebagai lahan parkir B.

Basement dibangun 3 lantai dengan kedalaman 9 m untuk menjaga kestabilan tanah dan mencegah keruntuhan tanah di samping basement tersebut. Selain itu juga digunakan dinding tiang sebagai dinding penahan tanah yang sekaligus sebagai dinding basement berbentuk beberapa baris

tiang bored pile yang dipasang rapat satu sama lain dengan gap (celah). Dengan perencanaan kedalaman galian sebesar 15 m, dimana basement 3 pada kedalaman 9 m terjadi keretakan/pergeseran akibat tekanan lateral tanah. Hal ini disebabkan pada perencanaannya tidak diberi perkuatan anchor. Oleh karena dengan menggunakan program komputer aplikasi plaxis v 8.2 akan dianalisis gaya geser, deformasi, tegangan, regangan pada tanah, serta gaya aksial, gaya geser, gaya momen pada dinding dan SF (safety factor) keamanan dinding serta perbaikannya dengan menggunakan ground anchor dan kekuatan anchor tersebut.

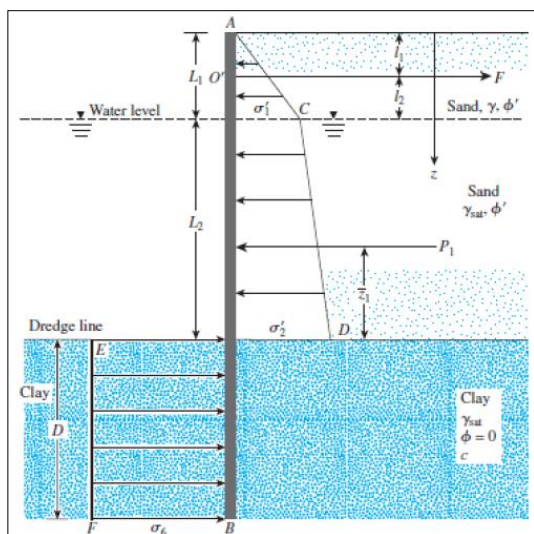
II. Landasan Teori

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah sebuah struktur yang didesain dan dibangun untuk menahan tekanan lateral horizontal tanah ketika terdapat perubahan dalam elevasi tanah yang melampaui sudut *at-rest* dalam tanah. Faktor penting dalam mendesain dan membangun dinding penahan tanah adalah mengusahakan agar dinding penahan tanah tidak bergerak ataupun tanahnya longsor akibat gaya gravitasi. Tekanan tanah lateral di belakang dinding penahan tanah bergantung kepada sudut geser dalam tanah (ϕ) dan kohesi (c). Tekanan lateral meningkat dari atas sampai ke bagian paling bawah pada dinding penahan tanah. Jika tidak direncanakan dengan baik, tekanan tanah akan mendorong dinding penahan tanah sehingga menyebabkan kegagalan konstruksi serta kelongsoran. Kegagalan juga disebabkan oleh air tanah yang berada di belakang dinding penahan tanah yang tidak terdisipasi oleh sistem drainase. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk sebuah dinding penahan tanah mempunyai sistem drainase yang baik untuk mengurangi tekanan hidrostatik dan meningkatkan stabilitas tanah

Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan lateral dari tanah yang mengakibatkan dinding *contiguous bored pile* bergerak menjauhi timbunan, sedangkan tekanan tanah pasif adalah tekanan horizontal efektif tanah yang menyebabkan pergerakan lateral dinding penahan kearah timbunan. Koefisien yang berhubungan dengan kondisi ini disebut dengan koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dan koefisien tekanan tanah pasif (K_p). Pada umumnya besaran tekanan tanah aktif dan pasif dianalisis dengan Metode Rankine



Gambar 1. Tekanan Tanah Aktif Dan Pasif Pada Lempung (Rankine)

Koefisien tekanan tanah aktif :

$$K_a = \frac{\sigma_a}{\sigma_v} = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \quad (1)$$

Dengan :

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

σ_a = tekanan tanah aktif menurut rankine

σ_v = tekanan tanah arah vertikal

Gaya total akibat tekanan tanah aktif :

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

Dengan:

P_a = gaya total

γ = berat isi tanah

H = tinggi dinding penahan tanah

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

Koefisien tekanan tanah pasif :

$$K_a = \frac{\sigma_a}{\sigma_v} = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (3)$$

Gaya total akibat tekanan tanah pasif :

$$P_p = \sigma_p = (4 - q')D \quad (4)$$

Dengan:

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

σ_p = tekanan tanah pasif menurut Rankine

σ_v = tekanan tanah arah vertikal

c = kohesi

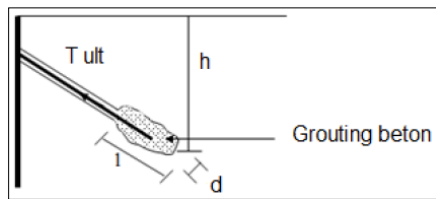
D = kedalaman turap

q' = tekanan tanah pada kedalaman dasar galian

γ = berat isi tanah

Penjangkaran

Apabila tinggi tanah di belakang dinding turap kantilever mencapai sekitar 6 m, maka akan menjadi lebih ekonomis apabila turap itu diperkuat dengan suatu plat jangkar (*anchor plates*), dinding jangkar (*anchor walls*), atau tiang jangkar (*anchor piles*), yang letaknya dekat dengan puncak turap. Cara dengan perkuatan jangkar ini disebut dengan tiang turap berjangkar (*anchored sheet piling*) atau sekatan berjangkar (*anchored bulkhead*). Jangkar akan mengurangi kedalaman penetrasi yang diperlukan oleh turap dan juga akan mengurangi luas penampang dan berat yang diperlukan dalam konstruksi. Namun, batang penguat (*tie rods*) yang menghubungkan turap dengan jangkar dan jangkar itu sendiri harus dirancang dengan hati-hati.



Gambar 2. Penjangkaran Pada Lapisan Tanah

Kepala jangkar ditempatkan setempat, pada setiap penjangkaran saja. Gaya ultimit jangkar, diperoleh dengan persamaan :

$$T_{ult} = \pi DL(\gamma d_2 K \tan \delta + C_a) \quad (5)$$

Dimana:

T_{ult} = gaya jangkar ultimit, sehingga $T_i = T_{ult}/SF$

D = diameter nominal yang di injeksi semen (m)

L = panjang bagian angker yang diselimuti semen (m)

d_2 = kedalaman rencana (*free length*)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

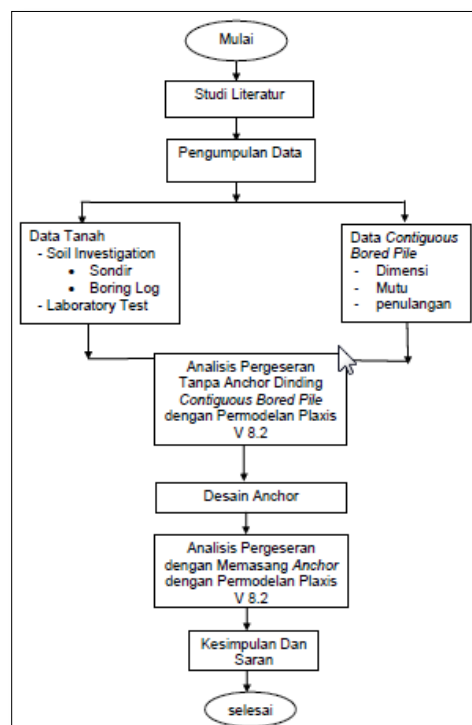
K = koefisien tekanan tanah lateral ($K_a < K < K_0$)

δ = sudut gesek antara injeksi semen dan tanah sekitarnya

C_a = adhesi antara tanah dan zona yang diinjeksi semen (kN/m^2)

III. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, adapun langkah yang akan digunakan dalam pengerjaan yaitu :



Gambar 3. Diagram alir pelaksanaan penelitian

IV. Analisis Dan Pembahasan

Data Pengujian Tanah

Pengujian tanah dilakukan dengan metode boring. Untuk analisis perilaku tanah pada Apartement Ciputra International Phase 1 hanya ditinjau pada satu titik yaitu pada tower 4 dan menggunakan data tanah pada titik bor BH-5. Data hasil pengujian tanah dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Data Dan Parameter Tanah Pada Titik (BH-5)

Soil Parameter	Symbol	Unit	Alluvial Fan		
			AC 1	AC 2	AC 3
SPT-N			6 - 13	8 - 50	10 - 43
Water content	w	%	34.44	34.80	35.29
Permeabilitas	k	m/sec	0.00178	0.00178	0.00178
Specific Gravity	Gs (20°C)	-	2.68	2.68	2.71
Nilai kohesi	c	kg/cm^2	0.1182	0.1182	0.2954
Sudut Geser	ϕ	$^\circ$	25	25	25.5

(sumber : PT Nusa Pratama Dwi Karisma "Konsultan Geoteknik")

Parameter-parameter tanah yang diperlukan pada analisis program plaxis v 8.2 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Tanah Pada Program Plaxis V 8.2

No	Parameter Tanah	No	Parameter Tanah
1	γ_{unsat} (berat volume kering)	5	E (modulus young)
2	γ_{sat} (berat volume jenuh air)	6	V (angka poisson)
3	K (permeabilitas)	7	C (nilai kohesi)
4	E (angka pori)	8	ϕ (sudut geser)

Dari data tanah yang diperoleh, masih terdapat kekurangan dalam parameter tanah yang digunakan dalam program plaxis v 8.2 diantaranya:

1. E (modulus elastisitas tanah)
2. e (angka pori)
3. γ_{unsat} (berat volume kering)
4. γ_{sat} (berat volume jenuh air)
5. μ (angka poisson)

Oleh karena itu dilakukan korelasi dari dan perhitungan manual data tanah yang sudah ada untuk mendapatkan parameter-parameter tanah yang belum tersedia.

- 1) E (modulus elastisitas tanah)

Nilai modulus elastisitas tanah didapatkan dari korelasi parameter per lapisan tanah data *boring log* pada titik BH-5, maka di dapatkan nilai :

Lapisan tanah 1 sebesar = 11200 kN/m^2 ,

Lapisan tanah 2 sebesar = 21500 kN/m^2

Lapisan tanah 3 sebesar = 20000 kN/m^2

- 2) e (angka pori)

Nilai angka pori tanah didapatkan dari hubungan angka pori dengan jenis tanah dengan korelasi parameter per lapisan tanah data *boring log* pada titik BH-5, maka di dapatkan nilai sebesar :

Lapisan tanah 1 = 0,6
 Lapisan tanah 2 = 0,57
 Lapisan tanah 3 = 0,76

3) γ_{unsat} (berat volume kering) :

a. Lapisan 1 (AC 1)

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,68$$

$$e = 0,6$$

$$\gamma_{unsat} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{2,68 \cdot 9,81}{1 + 0,6} = 16,43 \text{ kN/m}^3$$

b. Lapisan 2 (AC 2)

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,68$$

$$e = 0,57$$

$$\gamma_{unsat} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{2,68 \cdot 9,81}{1 + 0,57} = 16,74 \text{ kN/m}^3$$

c. Lapisan 3 (AC 3)

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,71$$

$$e = 0,76$$

$$\gamma_{unsat} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{2,68 \cdot 9,81}{1 + 0,76} = 15,10 \text{ kN/m}^3$$

4) γ_{sat} (berat volume jenuh air) :

a. Lapisan 1 (AC 1)

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,68$$

$$e = 0,6$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} = \frac{9,81(2,68 + 0,6)}{1 + 0,6} = 20,11 \text{ kN/m}^3$$

b. Lapisan 2 (AC 2)

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,68$$

$$e = 0,57$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} = \frac{9,81(2,68 + 0,57)}{1 + 0,57} = 20,30 \text{ kN/m}^3$$

c. Lapisan 3 (AC 3)

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s = 2,71$$

$$e = 0,76$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} = \frac{9,81(2,68 + 0,76)}{1 + 0,76} = 19,34 \text{ kN/m}^3$$

5) μ (angka poisson)

Angka poisson didapatkan dari hubungan antarjenis tanah dan *poisson ratio*), dengan korelasi parameter per lapisan tanah data *boring log* pada titik BH-5, maka di dapatkan nilai sebesar :

Lapisan tanah 1 = 0,3

Lapisan tanah 2 = 0,42

Lapisan tanah 3 = 0,31

Berikut rekapitulasi parameter tanah yang diperlukan untuk analisa menggunakan plaxis v 8.2 :

Tabel 3. Rekapitulasi Parameter Tanah

Parameter Tanah	Simbol	Satuan	Lapisan Tanah		
			AC 1	AC 2	AC 3
Berat Volume Jenuh Air	γ_{sat}	kN/m ³	20.11	20.30	19.34
Berat Volume Kering	γ_{unsat}	kN/m ³	16.43	16.74	15.10
Angka Pori	e	-	0.6	0.57	0.76
Angka Poison	v	-	0.30	0.42	0.31
Nilai Kohesi	c	kN/m ²	11.82	11.82	29.54
Sudut Geser	ϕ	°	25	25	25.5
Modulus Young	E	kN/m ²	11200	21500	20000
Permeabilitas	K	m/sec	0,00178	0,00178	0,00178

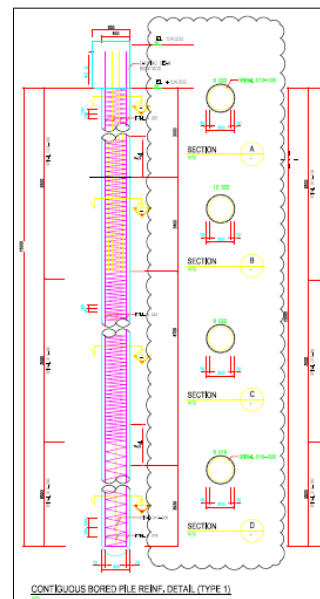
Dimensi Struktur

Dimensi struktur yang diperlukan dalam analisis program plaxis v8.2 meliputi data dinding penahan tanah (*contiguous bored pile*) padatitik T4-E dan T4-E1 yaitu :

Diameter = 0,60 m

Panjang = 15 m

Dimensi tiang bore pile dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Detail tiang *contiguous bore pile*

Parameter Struktur

a) Mencari Nilai *Modulus Young Contiguous Bore Pile*

Nilai modulus young *contiguous bore pile*

Dengan menggunakan beton yaitu : $2,3 \times 10^{10}$ (Pa) = $2,3 \times 10^7$ (kN/m²)

b) Mencari nilai *normal stiffnes*

$$EA = E \cdot h \cdot b$$

$$EA = 2,3 \times 10^7 \times 0,6 \times 1$$

$$= 1,38 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

- c) Mencari nilai *flexural rigidity*

$$EI = E \frac{h^3 b}{12} = 2,3 \times 10^7 \frac{0,63 \cdot 1}{12} = 414000 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

- d) Mencari nilai *plate weight*

$$w = (\gamma_{struktur} - \gamma_{tanah}) \cdot h = (24 - 20,35) \cdot 0,6 = 2,1900 \text{ kN/m/m}$$

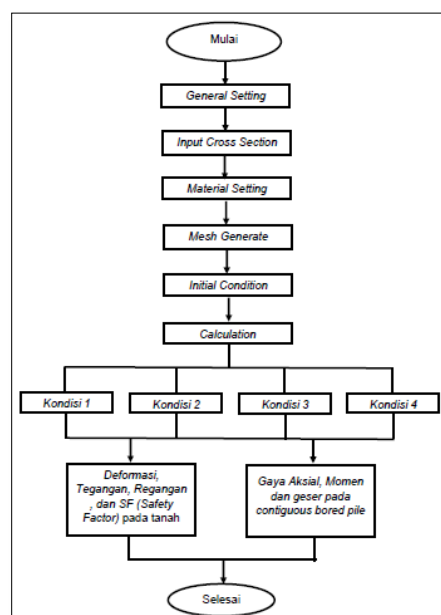
Rekapitulasi nilai parameter-parameter struktur dapat dilihat pada Tabel 4. dibawah ini :

Tabel 4. Rekapitulasi Parameter-Parameter Struktur

Parameter Struktur	Simbol	Unit	Material Contiguous Bore Pile
Tebal	h	m	0,6
Lebar	b	m	1
Modulus young	E	kN/m ²	2,30E+07
Normal stiffness	EA	kN/m	1,38E+07
Flexural rigidity	EI	kN/m ² /m	414000
Plate weight	w	kN/m/m	2,1900
Angka poisson	v	-	0,15

Analisa Program Plaxis V 8.2

Analisa perilaku tanah dilakukan dengan menggunakan program plaxisv 8.2, dengan menggunakan data-data tanah, lokasi kajian, dan dimensi struktur. Tahapan analisa perilaku tanah dengan program plaxis v 8.2 dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Tahapan Analisa Perilaku Tanah Dengan Program Plaxis V 8.2

Fase Awal Sebelum Pemasangan Anchor

Tahap-tahap kondisi yang dilakukan sebagai berikut :

- Kondisi 1, adalah memasukan fase pengecoran dinding *contiguous bore pile* dan pembebanan.
- Kondisi 2, adalah tahap galian pertama sedalam + 3 m dari permukaan tanah.

- Kondisi 3, adalah galian kedua sedalam + 6 m dari permukaan tanah.
- Kondisi 4, adalah galian ketiga sedalam + 9 m dari permukaan tanah.

Kemudian dimasukkan ke tahap perhitungan (*calculation*) dibagi menjadi beberapa tahap perhitungan dan terdiri dari 4 (empat) kondisi konstruksi seperti keterangan sebelumnya :

- Initial Phase*, merupakan tahap *default* dari program (fase 0)
- Tahap pengecoran *contiguous bore pile* dan pembebanan, merupakan tahap dimana dinding penahan tanah (*contiguous bore pile*) sudah dipasang dan mengaktifkan pembebanan yang ada (fase 1).
- Tahap galian 1, merupakan tahap dimana pekerjaan galian pertama sedalam 3 m dilakukan (fase 2).
- Tahap perhitungan faktor keamanan (SF 1), yaitu tahap dimana kestabilan tanah akibat fase 2 dihitung (fase 3).
- Tahap galian 2, merupakan tahap dimana pekerjaan galian kedua sedalam 6 m dilakukan (fase 4).
- Tahap perhitungan keamanan (SF 2), yaitu tahap dimana kestabilan tanah akibat fase 4 dihitung (fase 5).
- Tahap galian 3, merupakan tahap galian terakhir yang dilakukan sedalam 9 m (fase 6).
- Tahap perhitungan keamanan (SF 3), yaitu tahap dimana kestabilan tanah akibat fase 6 dihitung (fase 7).

Di setiap kondisi dilakukan pengecekan SF (*safety factor*) untuk melihat kondisi keamanan dinding dan di setiap kondisi dilihat nilai pergeserannya

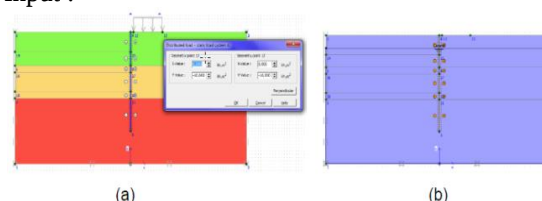
Berikut adalah tahapan langkah perhitungan tiap kondisi :

1. Pengecoran *contiguous bore pile* dan pembebanan (kondisi 1)

Number/ID : pengecoran *contiguous bore pile* dan pembebanan *General-cac1 type : plastic Parameters-load input : staged construction*, lalu klik *define*.

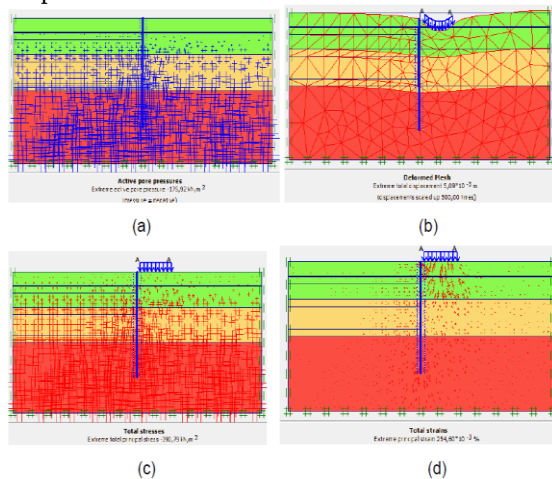
Aktifkan *contiguous bore pile*, dan aktifkan garis muka air tanah seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Input :



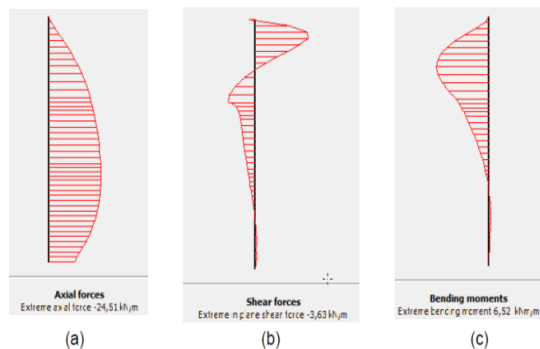
Gambar 6. (A) Kondisi Awal *Contiguous Bored Pile* Dan Pembebanan 1; (B) Kondisi Muka Air Tanah *Contiguous Bored Pile* (Fase Awal)

Output :



Gambar 7. Hasil Kalkulasi Tanah Kondisi 1 (A) Tekanan Air; (B) Deformasi; (C) Tegangan; (D) Regangan (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 1 dapat dilihat tekanan air tanah sebesar $-175,92 \text{ kN/m}^2$, dimana deformasi terjadi sebesar $0,0051 \text{ m}$, dengan tegangan tanah sebesar $-390,79 \text{ kN/m}^2$ dan regangan tanah sebesar $0,2546\%$. Kalkulasi tanah kondisi 1 masih dalam kategori aman.



Gambar 8. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 1 (A) Gaya Axial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya axial $-24,51 \text{ kN/m}$, gaya geser $-3,63 \text{ kN/m}$, dan gaya momen sebesar $6,52 \text{ kNm/m}$.

2. Galian 1 dan SF 1 (kondisi 2)

Number/ID : galian 1

General-calc type : plastic

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

Aktifkan galian 1, dan aktifkan garis muka air tanah

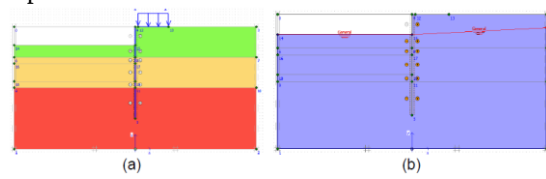
Number/ID : SF 1 (Safety Factor 1)

General-calc type : phi/c-reduction

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define.

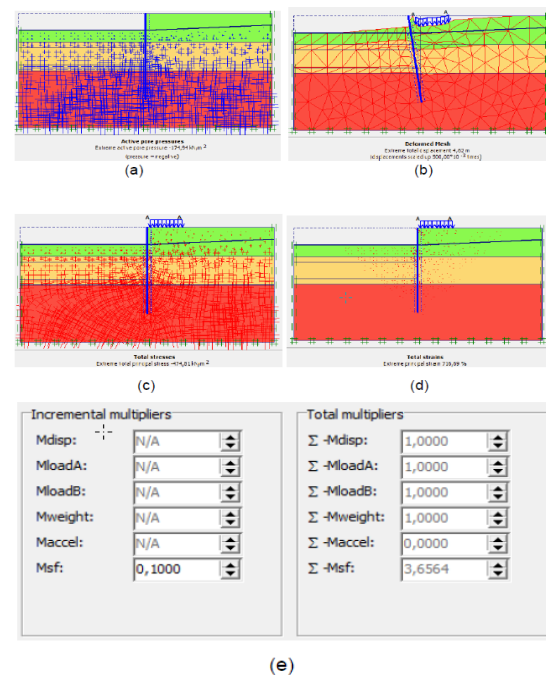
Pada parameters, centang "ignore undrained behavior"

Input :



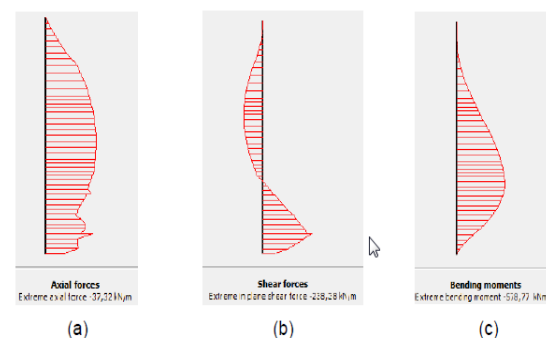
Gambar 9. (A) Kondisi Awal Galian 1, + 3 M; (B) Kondisi Muka Air Tanah Galian 1 (Fase Awal)

Output :



Gambar 10 Hasil Kalkulasi Tanah Kondisi 2 (A) Tekanan Air; (B) Deformasi; (C) Tegangan; (D) Regangan; Dan (E) Faktor Aman (Safety Factor) (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 2 dapat dilihat tekanan air tanah sebesar $-174,94 \text{ kN/m}^2$, dimana deformasi terjadi sebesar $4,62 \text{ m}$, dengan tegangan tanah sebesar $-474,81 \text{ kN/m}^2$, regangan tanah sebesar $716,69\%$ dan faktor aman sebesar $3,6564$. Kalkulasi tanah kondisi 2 mengalami deformasi yang besar dan regangan yang tinggi.



Gambar 11. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 2 (A) Gaya Axial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya axial $-37,32 \text{ kN/m}$, gaya geser $-238,38 \text{ kN/m}$, dan gaya momen sebesar $-578,77 \text{ kNm/m}$, maka di area ini akan dilakukan kajian perbaikan dinding pada galian 1 (0-3m) dari permukaan galian.

3. Galian 2 dan SF 2 (kondisi 3)

Number/ID : galian 2

General-cac type : plastic

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

Aktifkan galian 2, dan aktifkan garis muka air tanah

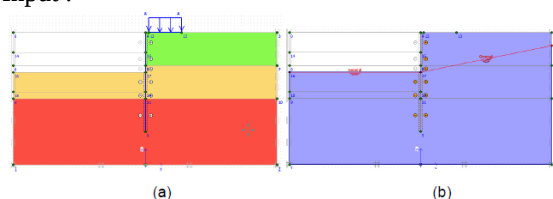
Number/ID : SF 2 (Safety Factor 2)

General-cac type : phi/c-reduction

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

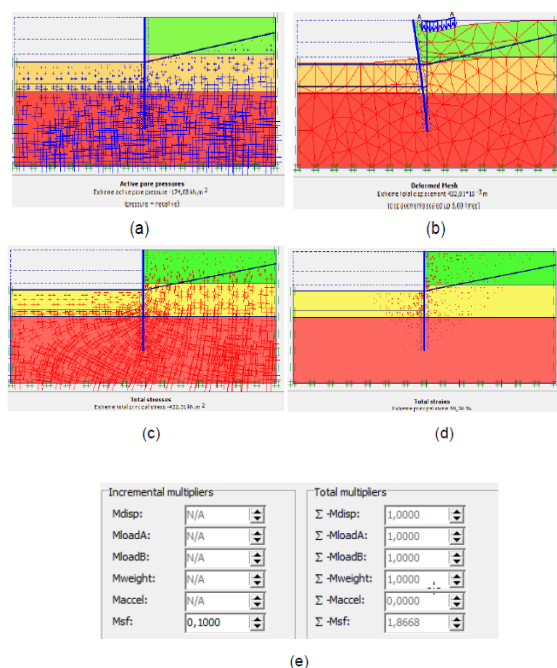
Pada parameters, centang "ignore undrained behavior"

Input :



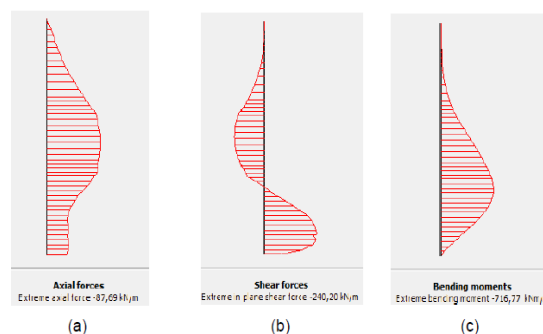
Gambar 12. (A) Kondisi Awal Galian 2, + 6 M; (B) Kondisi Muka Air Tanah Galian 2 (Fase Awal)

Output :



Gambar 13. Hasil Kalkulasi Kondisi 3 (A) Tekanan Air; (B) Deformasi; (C) Tegangan; (D) Regangan; Dan (E) Faktor Aman (Safety Factor) (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 3 dapat dilihat tekanan air tanah sebesar $-174,68 \text{ kN/m}^2$, dimana deformasi terjadi sebesar $0,4329 \text{ m}$, dengantegangan tanah sebesar $-499,46 \text{ kN/m}^2$, regangan tanah sebesar $154,21 \%$ dan faktor aman sebesar $1,8668$. Kalkulasi tanah kondisi 3 masih dalam kategori aman.



Gambar 14. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 3 (A) Gaya Axial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya axial $-87,69 \text{ kN/m}$, gaya geser $-240,20 \text{ kN/m}$, dan gaya momen sebesar $-716,77 \text{ kNm/m}$.

Area ini masih tergolong aman.

4. Galian 3 dan SF 3 (kondisi 4)

Number/ID : galian 3

General-cac type : plastic

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

Aktifkan galian 3, dan aktifkan garis muka air tanah

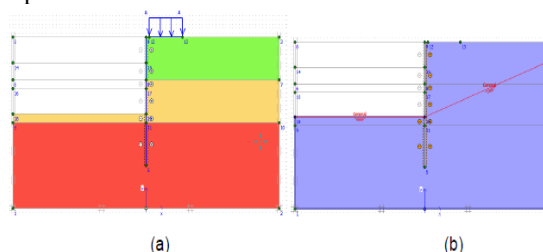
Number/ID : SF 3 (Safety Factor 3)

General-cac type : phi/c-reduction

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

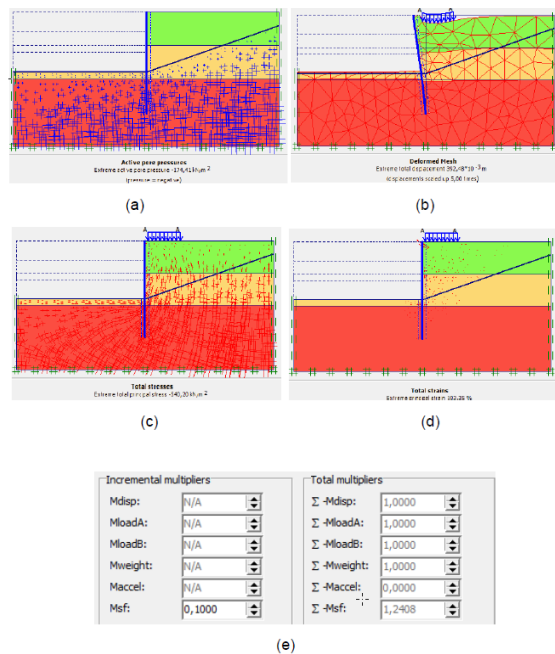
Pada parameters, centang "ignore undrained behavior"

Input :



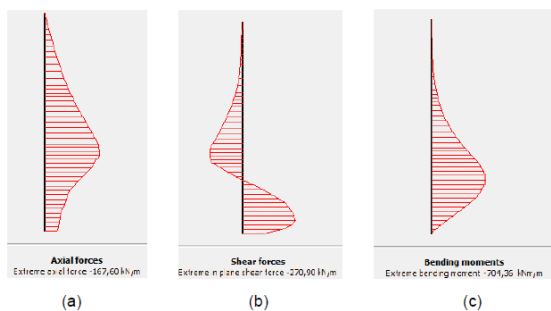
Gambar 15. (A) Kondisi Awal Galian 3, + 9 M; (B) Kondisi Muka Air Tanah Galian 3 (Fase Awal)

Output :



Gambar 16. Hasil Kalkulasi Kondisi 4 (A) Tekanan Air; (B) Deformasi; (C) Tegangan; (D) Regangan; Dan (E) Faktor Aman (*Safety Factor*) (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 4 dapat dilihat tekanan air tanah sebesar $-174,41 \text{ kN/m}^2$, dimana deformasi terjadi sebesar $0,3925 \text{ m}$, dengan tegangan tanah sebesar $-540,20 \text{ kN/m}^2$, regangan tanah sebesar $103,35 \%$ dan faktor aman sebesar $1,2408$. Kalkulasi tanah kondisi 4 mengalami deformasi yang tidak terlalu besar, tetapi faktor aman tidak sesuai dengan standar aman basement.



Gambar 17. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 4 (A) Gaya Axial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Awal)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya perpindahan dinding sebesar $0,3925 \text{ m}$, dimana gaya axial $167,60 \text{ kN/m}$, gaya geser $-270,90 \text{ kN/m}$, dan gaya momen sebesar $-704,36 \text{ kNm/m}$. Area ini masih tergolong aman untuk deformasi.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil *Output* Perilaku Tanah (Fase Awal)

No	Kondisi	Deformasi (m)	Tegangan (kN/m^2)	Regangan (%)	SF
1	Kondisi 1	0.0051	-390.79	0.2546	-
2	Kondisi 2	4.6200	-474.81	716.69	3.6564
3	Kondisi 3	0.4329	-499.46	154.21	1.8668
4	Kondisi 4	0.3925	-540.20	103.35	1.2408

Tabel 6. Rekapitulasi Nilai Gaya-Gaya Dalam *Contiguous Bored Pile* (Fase Awal)

No	Kondisi	Gaya Aksial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Gaya Momen (kNm/m)
1	Kondisi 1	-24.51	-3.63	6.52
2	Kondisi 2	-37.32	-238.38	-578.77
3	Kondisi 3	-87.69	-240.20	-716.77
4	Kondisi 4	-167.60	-270.90	-704.36

Dari data-data perhitungan permodelan plaxis v 8.2 di atas, terdapat deformasi/pergeseran yang tinggi di kondisi 2 atau galian 1, dan SF (*safety factor*) yang tergolong tidak aman dengan standar SF (*safety factor*) untuk bangunan *basement* nilai $SF > 1,5$. Sedangkan pada kondisi 4 $SF < 1,5$ maka dengan itu dilakukan perbaikan dengan menggunakan *ground anchor* sebagai perkuatan tambahan. Langkah selanjutnya mendesain perkuatan *ground anchor* yang pas untuk perkuatan.

Perhitungan *ground anchor*

1. Menghitung Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

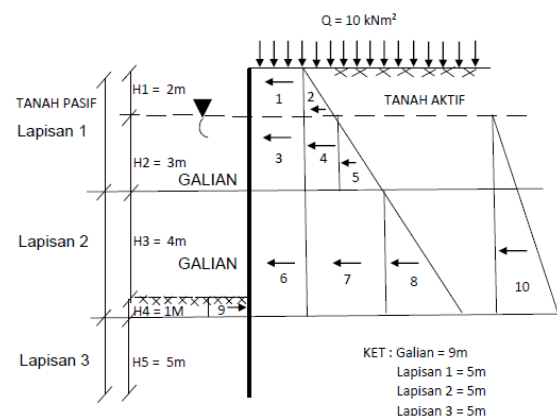
Dengan menggunakan rumus $K_a = \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})^2$, didapat tekanan tanah aktif :

- Lapisan tanah 1, $\phi = 25^\circ$, $K_{a1} = 0.4059$
- Lapisan tanah 2, $\phi = 25^\circ$, $K_{a2} = 0.4059$
- Lapisan tanah 3, $\phi = 25^\circ$, $K_{a3} = 0.3981$

Tekanan tanah pasif, diperoleh dengan rumus :

$K_p = \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2})^2$, sudut geser dalam dengan kondisi tanah lempung $\phi = 25,50^\circ$ (Lapisan tanah 3)

$$K_p = 2.5119$$



Dimana : $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Maka:

Lapisan 1, $\gamma_1' = 20.11 - 9.81 = 10.30 \text{ kN/m}^3$

Lapisan 2, $\gamma_2' = 20.30 - 9.81 = 10.49 \text{ kN/m}^3$

Lapisan 3, $\gamma_3' = 19.34 - 9.81 = 9.53 \text{ kN/m}^3$

Tekanan tanah aktif :

No	H_i (m)	P_a (kN/m)
1	2	$Q.H_1.Ka_1 = 10 \times 2 \times 0.4059 = 8.1180$
2	2	$\frac{1}{2} H_1^2.Ka_1. \gamma_1' = 0.5 \times 2^2 \times 0.4059 \times 10.30 = 8.1180$
3	3	$Q.H_2.Ka_1 = 10 \times 3 \times 0.4059 = 12.1770$
4	2 dan 3	$H_1.H_2. \gamma_1'.Ka_1 = 2 \times 3 \times 10.30 \times 0.4059 = 24.3540$
5	3	$\frac{1}{2} H_2^2.Ka_1. \gamma_1' = 0.5 \times 3^2 \times 0.4059 \times 10.30 = 18.8135$
6	4	$Q.H_3.Ka_2 = 10 \times 4 \times 0.4059 = 16.2360$
7	3 dan 4	$H_2.H_3. \gamma_2'.Ka_2 = 3 \times 4 \times 10.49 \times 0.4059 = 51.5372$
8	4	$\frac{1}{2} H_3^2.Ka_2. \gamma_2' = 0.5 \times 4^2 \times 0.4059 \times 10.49 = 34.0631$
9	1	$H_4 - 2c. \sqrt{Ka_3} = 1 \times 2 \times 29.54 \times \sqrt{0.3981} = -37.2766$
10	3 dan 4	$\frac{1}{2} (H_2 + H_3). \gamma_w = 0.5 \times (3+4) \times 9.81 = 34.3350$
		$\Sigma P_a = 221.3547 \text{ kN/m}$

Tegangan akibat beban merata :

$$\begin{aligned}
 q' &= \Sigma \gamma_i H_i + q \\
 &= (5 \times 16.74) + (4 \times 9.53) + 10 \\
 &= 131.82 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif :

$$P_p = (4c - q')D$$

$$P_p = (4 \times 29.54 - 131.82) \times 6 = -81.960 \text{ kN/m}$$

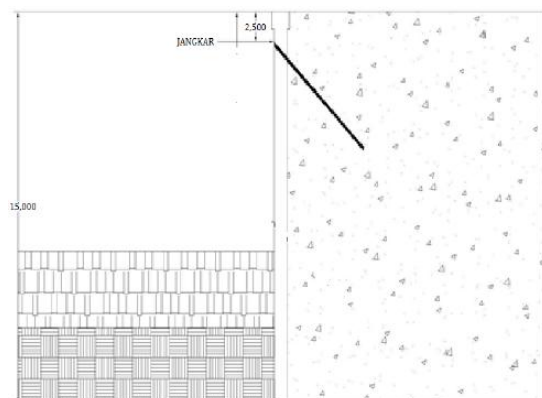
Gaya total

$$F = P_a - P_p$$

$$= 221.3547 \text{ kN/m} - (-81.960 \text{ kN/m})$$

$$= 303.3147 \text{ kN/m}$$

Rencana Desain Angkur



Gambar 18. Penampang Rencana Perletakkan Angkur

Pada gambar diatas diketahui :

Letak angkur = 2,5m

Sudut kemiringan angkur = 45°

Tipe jangkar = penjangkaran pada lapisan tanah

Maka gaya F yang bekerja pada angkur

Sudut kemiringan 45° :

$$F_{aktual} = \frac{F}{\cos 45^\circ} = \frac{303.3147}{0.7071} = 428.9518 \text{ kN/m}$$

Penjangkaran yang dilakukan merupakan tipe penjangkaran pada lapisan tanah, dimana pada lapisan tanah di borda dilakukan perkuatan dengan memasukkan *Grouting* kedalam lubang bor dengan panjang dan dimensi tertentu

Maka dengan demikian mencari dimensi *grouting* yang di perlukan sebagai berikut :

$$T_u = \pi DL (\gamma d_2 K t g \delta + C a)$$

Dengan :

$$C (\text{lapisan 1 dan 2}) = 11.82 \text{ kN/m}^2$$

$$ad (\text{faktor adhesi}) = 0.7$$

D (diameter normal yang di injeksi semen) = 20 cm (perencanaan)

$$\gamma (\text{berat volume tanah lapisan 1}) = 16.43 \text{ kN/m}^3$$

$$\delta (\text{sudut gesek}) = 25^\circ$$

Kedalaman rencana (*free length*) = 9m (mengikuti tinggi bore pile)

Maka :

$$K \approx K_0 = 1 - \sin 2\phi = 0.5774$$

$$\text{Adhesi, } ca = ad \times cu = 0.7 \times 11.82 = 8.2740 \text{ kN/m}^2$$

Maka ,tahanan batang angkur ultimit

$$T_u = \pi DL (\gamma d_2 K t g \delta + C a)$$

$$428.9518 = \pi \cdot 0.2 \cdot L (16.43 \cdot 9 \cdot 0.5774 \cdot \tan 25^\circ + 8.2740)$$

$$428.9518 = 30.2142 L$$

$$L = 15.1970 \text{ m} \approx 15 \text{ m (Bond Length)}$$

$$\text{Panjang total angkur : } 9 \text{ m} + 15 \text{ m} = 24 \text{ m (rencana)}$$

Fase setelah pemasangan anchor

Setelah melakukan permodelan awal dengan tahap konstruksi awal, kemudian dilakukan permodelan terakhir dengan tahap konstruksi terakhir dimana dilakukan penambahan anchor untuk mengurangi deformasi dan peningkatan SF (*safety factor*) serta melihat kestabilan nilai gaya aksial, gaya geser, gaya moment, tegangan dan rengangan. Sama seperti tahap sebelumnya, disini hanya dilakukan pemasukkan data nilai-nilai anchor yang sudah di dapatkan.

Input angkur digunakan untuk memodelkan parameter-parameter angkur yang ada pada lokasi kajian. Data desain perencanaan angkur adalah sebagai berikut :

No	Material	h (m)	E (kN/m)	EA (kN)	Lspacing (m)
1	Anchor	24	428.9518	10294.8432	1.5

Tahap perhitungan (*calculation*) dibagi menjadi beberapa tahap perhitungan dan terdiri dari 4 (empat) kondisi konstruksi seperti keterangan sebelumnya :

- Initial Phase*, merupakan tahap *default* dari program (fase 0)
- Tahap pengecoran *contiguous bore pile* dan pembebanan, merupakan tahap dimana dinding penahan tanah (*contiguous bore pile*) sudah dipasang dan mengaktifkan pembebanan yang ada (fase 1).
- Tahap galian 1 dan pemasangan angkur, merupakan tahap dimana pekerjaan galian pertama sedalam 3 m dilakukan kemudian dilakukan.
- Pemasangan angkur pada kedalaman 2,5 m dari permukaan (fase 2).
- Tahap perhitungan faktor keamanan (SF 1), yaitu tahap dimana kestabilan tanah akibat fase 2 dihitung (fase 3).
- Tahap galian 2, merupakan tahap dimana pekerjaan galian kedua sedalam 6 m dilakukan (fase 4)
- Tahap perhitungan keamanan (SF 2), yaitu tahap dimana kestabilan tanah akibat fase 4 dihitung (fase 5).
- Tahap galian 3, merupakan tahap galian terakhir yang dilakukan sedalam 9 m (fase 6).
- Tahap perhitungan keamanan (SF 3), yaitu tahap dimana kestabilan tanah akibat fase 6 dihitung (fase 7).

Di setiap kondisi dilakukan pengecekan SF (*safety factor*) untuk melihat kondisi keamanan dinding dan di setiap kondisi dilihat nilai pergeserannya.

1. Pengecoran *contiguous bore pile* dan pembebanan (kondisi 1)

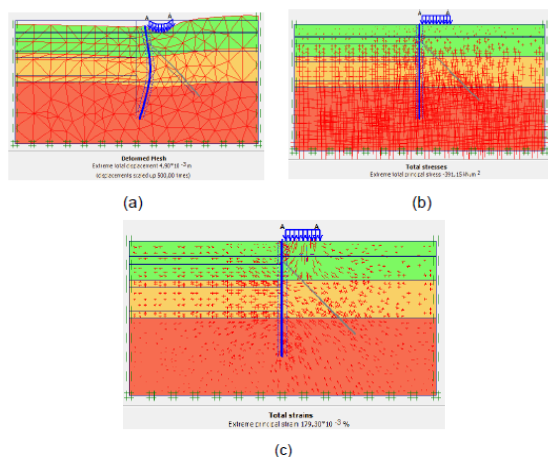
Number/ID : pengecoran *contiguous bore pile* dan pembebanan

General-cacl type : *plastic*

Parameters-load input : *staged construction*, lalu klik *define*

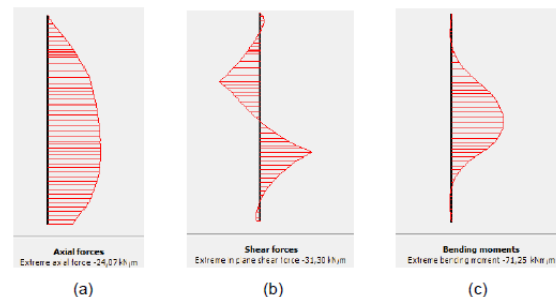
Aktifkan *contiguous bored pile* dan pembebanan.

Output :



Gambar 19. Hasil Kalkulasi Tanah Kondisi 1 (A) Deformasi; (C) Tegangan;(D) Regangan (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 1 dapat dilihat deformasi terjadisebesar 0,0049 m, dengan tegangan tanah sebesar -391.15 kN/m², regangan tanah sebesar 0.1793 %.



Gambar 20. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 1 (A) Gaya Axial;(B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya axial-24,07 kN/m, gaya geser - 31,30 kN/m, dan gaya momen sebesar -71,25 kNm/m.

2. Galian 1, Pemasangan *Anchor* dan SF 1 (kondisi 2)

Number/ID : galian 1 dan pemasangan *anchor*

General-cacl type : *plastic*

Parameters-load input : *staged construction*, lalu klik *define*

Aktifkan galian 1 dan *anchor plate*.

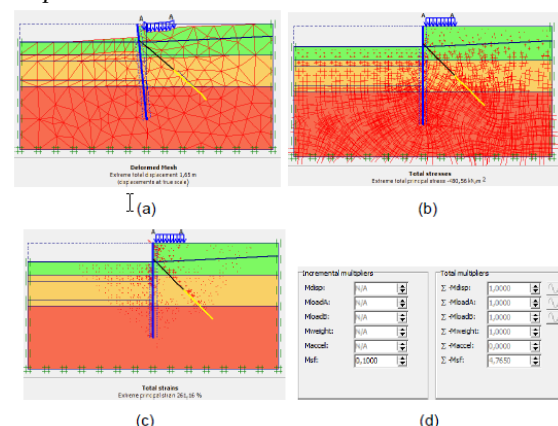
Number/ID : SF 1 (*Safety Factor* 1)

General-cacl type : *phi/c-reduction*

Parameters-load input : *staged construction*, lalu klik *define*

Pada parameters, centang “*ignore undrained behavior*”

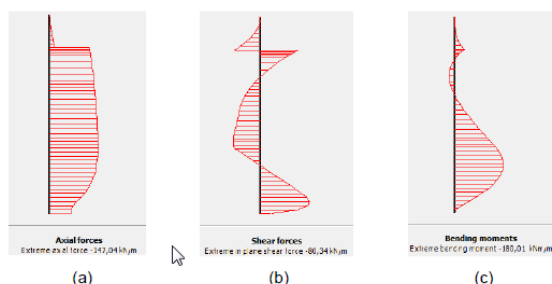
Output :



Gambar 21. Hasil Kalkulasi Tanah Kondisi 2 (A) Deformasi; (B) Tegangan;(C)Regangan; (D) Faktor Aman (*Safety Factor*) (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 2 dapat dilihat deformasi terjadi sebesar 1,65 m, dengan tegangan tanah sebesar -480.56 kN/m², regangan tanah sebesar 261,16 %, dan faktor aman sebesar

4,7650. Dari hasil tersebut dapat dilihat perubahan yang signifikan dari tahap sebelum penambahan *anchor* pada deformasi, regangan dan SF dan termasuk dalam kondisi aman.



Gambar 22. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 2 (A) Gaya Axial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya axial-147,04 kN/m, gaya geser -80,34 kN/m, dan gaya momen sebesar -180,01 kNm/m. Terjadi perubahan yang signifikan dari tahap sebelum penambahan *anchor* dan termasuk dalam kondisinya aman.

3. Galian 2 dan SF 2 (kondisi 3)

Number/ID : galian 2

General-calc type : plastic

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

Aktifkan galian 2.

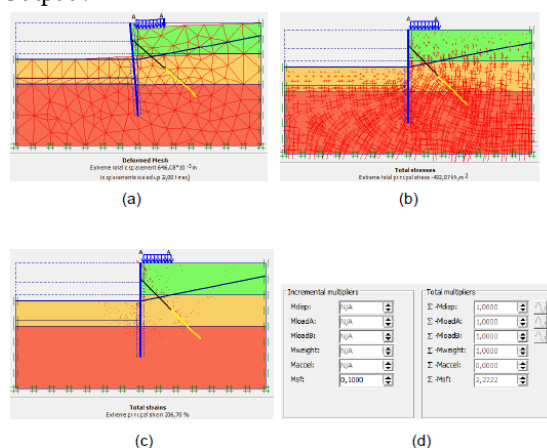
Number/ID : SF 2 (Safety Factor 2)

General-calc type : phi/c-reduction

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

Pada parameters, centang "ignore undrained behavior"

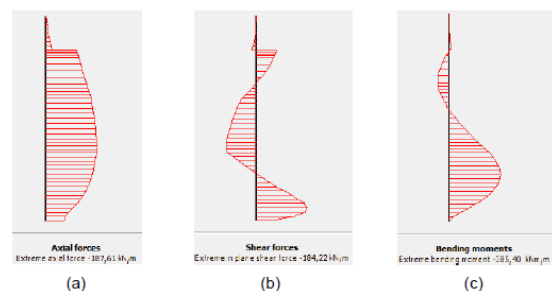
Output :



Gambar 23. Hasil Kalkulasi Tanah Kondisi 3 (A) Deformasi; (B) Tegangan; (C) Regangan; (D) Faktor Aman (Safety Factor) (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 3 dapat dilihat deformasi terjadi sebesar 0,6461 m, dengan tegangan tanah sebesar -492,07 kN/m², regangan

tanah sebesar 206,70 %, dan faktor aman sebesar 2,2222.



Gambar 24. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 3 (A) Gaya Axial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya axial-187,61 kN/m, gaya geser -184,22 kN/m, dan gaya momen sebesar -385,40 kNm/m dan kondisi ini tergolong aman.

4. Galian 3 dan SF 3 (kondisi 4)

Number/ID : galian 3

General-calc type : plastic

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

Aktifkan galian 3.

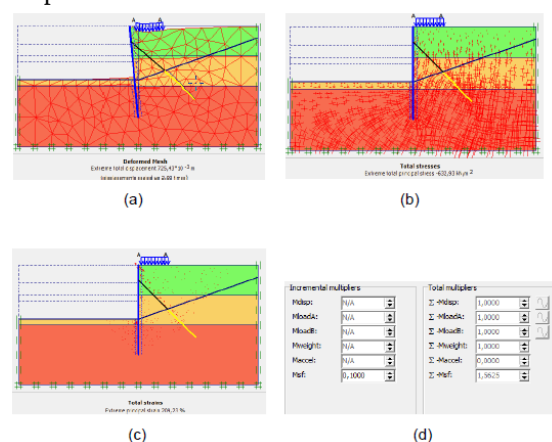
Number/ID : SF 3 (Safety Factor 3)

General-calc type : phi/c-reduction

Parameters-load input : staged construction, lalu klik define

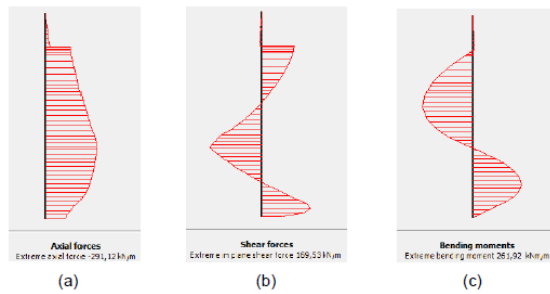
Pada parameters, centang "ignore undrained behavior"

Output :



Gambar 25. Hasil Kalkulasi Tanah Kondisi 4 (A) Deformasi; (B) Tegangan; (C) Regangan; (D) Faktor Aman (Safety Factor) (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi tanah pada kondisi 4 dapat dilihat deformasi terjadi sebesar 0,7254 m, dengan tegangan tanah sebesar -632,93 kN/m², regangan tanah sebesar 209,23 %, dan faktor aman sebesar 1,5625 dan termasuk dalam kondisi aman dimana SF > 1,5.



Gambar 26. Hasil Kalkulasi Dinding Penahan Tanah Kondisi 4 (A) Gaya Aksial; (B) Gaya Geser; (C) Gaya Momen (Fase Akhir)

Dari hasil kalkulasi dinding penahan tanah dapat dilihat gaya aksial -291,12 kN/m, gaya geser 169,53 kN/m, dan gaya momen sebesar 261,92 kNm/m.

Tabel 7. Rekapitulasi Perbandingan Perilaku Tanah Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Anchor

Kondisi	Sebelum pemasangan anchor			
	Deformasi (m)	Tegangan (kNm ²)	Regangan (%)	SF
1	0,0051	-390,79	0,2546	-
2	4,6200	-474,81	716,69	3,6564
3	0,4329	-499,46	154,21	1,8668
4	0,3925	-540,20	103,35	1,2408
Kondisi	Sesudah pemasangan anchor			
	Deformasi (m)	Tegangan (kNm ²)	Regangan (%)	SF
1	0,0049	-391,15	0,1793	-
2	1,6500	-480,56	261,16	4,7650
3	0,6461	-492,07	206,70	2,2222
4	0,7254	-632,93	209,23	1,5625

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Gaya-Gaya Dalam Contiguous Bored Pile Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Anchor

Kondisi	Sebelum pemasangan anchor		
	Gaya Aksial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Gaya Momen (kNm/m)
1	-24,51	-3,63	6,52
2	-37,32	-238,38	-578,77
3	-87,69	-240,20	-716,77
4	-167,60	-270,90	-704,36
Kondisi	Sesudah pemasangan anchor		
	Gaya Aksial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Gaya Momen (kNm/m)
1	-24,07	-31,30	-71,25
2	-147,04	-80,304	-180,01
3	-187,61	-184,22	-385,40
4	-291,12	-169,53	261,91

Dari hasil rekapitulasi nilai perbandingan diatas dapat di lihat kondisi ekstrim yang terjadi pada kondisi 2 dengan perbandingan deformasi, tegangan, regangan, gaya aksial, gaya geser, gaya momen dan SF yang tinggi dapat di atasi dengan melakukan pemasangan desain *anchor*.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada studi kasus, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Kondisi ekstrim gaya-gaya dalam *contiguous bored pile* sebelum pemasangan *anchor* terjadi pada galian 1 (kondisi 2) dengan nilai gaya aksial -37.32 kN/m, gaya geser -238.38 kN/m, gaya momen -578.77 dan setelah pemasangan *anchor* nilai gaya aksial -147.04 kN/m, gaya geser -80.304 kN/m, gaya momen -180.01 kNm/m.
- 2) Berdasarkan kondisi ekstrim yang didapat, maka digunakan *ground anchor* sebagai perkuatan tambahan, dan di desain kekuatan *anchor* dengan gaya jangkar sebesar 428.9518 kN/m, dengan panjang rencana 24 m.
- 3) Kondisi ekstrim perilaku tanah sebelum pemasangan *anchor* terjadi pada galian 1 (kondisi 2) dengan nilai deformasi 4.62 m, tegangan -474.81 kN/m², regangan 716.69 %, dan faktor keamanan (*safety factor*) 3.6564 dan setelah pemasangan *anchor* deformasi 1.65 m, tegangan -480.56 kN/m², regangan 261.16% dan faktor keamanan (*safety factor*) 4.7650

Daftar Pustaka

- Asfarina, Sharwanda (2014), *Analisis Struktur Penahan Tanah Terhadap Beban Lateral (Studi Kasus Puri Matahari Tower)*, STT-PLN.
- Bowles, Joseph E. (1982), *Foundation Analysis and Design 3rd Edition*. McGraw-Hill Inc., New York.
- Braja M. Das. (2008), *Introduction to Geotechnical Engineering (International Student Edition)*. Thomson Learning, Toronto.
- Das, Braja M. (2002). *Principles of Geotechnical Engineering 5th Edition*, Thomson Learning, Inc.
- Gunawan, R., (1983), *Pengantar Teknik Fondasi*, Kanisius, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., (2006), *Mekanika Tanah I*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., (2008). *Teknik Fondasi 2*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ou, C. Y., 2006, *Deep Excavation Theory and Practice*, Taylor & Francis Group, London, UK.
- Suyanto, Alif Ramdhani (2011). *Studi Stabilitas Dinding Basement dengan perkuatan Ground Anchor yang Tidak Memenuhi Kapasitas Tarik Desain*, Program Studi Teknik Sipil - Institut Teknologi Bandung.
- PT Nusa Pratama Dwi Karisma (*Konsultan geoteknik Data Soil Investigation and Laboratory Test*)
- Plaxis Versi 8 Manual Acuan, <http://id.scribd.com/doc/245245442/Plaxis82-Indonesian-2-Acuan-pdf#scribd>, [Diakses pada 10 Mei 2016 pukul 09.32wib].