

Analisis Stabilitas Galian Dalam Menggunakan *Contiguous Bored Pile* dengan Perkuatan Angkur Berbasis Geo5

(Stability Analysis of Deep Excavation Using Contiguous Bored Pile with Anchor Reinforcement Based on Geo5)

Tiara Danti Sasikirana^{1*}, Danang Setiya Raharja¹

¹Program Studi Tekn Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
Jalan Dukuh Kupang XX No. 54, Kota Surabaya. Jawa Timur, Indonesia, 60225

Abstrak

Dinding penahan tanah (DPT) merupakan struktur yang dirancang untuk menahan tekanan tanah lateral guna mencegah pergerakan atau keruntuhan tanah, terutama pada lokasi dengan perbedaan elevasi permukaan tanah yang signifikan, termasuk pada pekerjaan galian dalam. Salah satu jenis DPT yang umum digunakan untuk galian dalam adalah *Contiguous Bored Pile* (CBP), yaitu dinding penahan tanah yang tersusun atas deretan tiang beton yang dibor secara berurutan dengan jarak antar tiang yang saling berdekatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas galian dalam dengan kedalaman 12 m yang distabilkan menggunakan dinding CBP dan perkuatan angkur. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Geo5, menggunakan modul *Sheeting Check* untuk mengevaluasi stabilitas internal dan modul *Slope Stability* untuk menilai stabilitas global. CBP yang dianalisis memiliki diameter 1 m dan panjang 24 m. Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini meliputi diameter tulangan CBP, yaitu 25 mm dan 32 mm, serta posisi pemasangan angkur. Hasil analisis menunjukkan bahwa CBP dengan tulangan berdiameter 25 mm tidak memenuhi persyaratan struktural, sedangkan penggunaan tulangan berdiameter 32 mm memenuhi kebutuhan kapasitas struktural, khususnya terhadap momen lentur (*bending moment*). Variasi posisi angkur, baik pada baris pertama di kedalaman 0,2 m atau 1 m maupun pada baris kedua di kedalaman 2,7 m atau 3 m, tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat stabilitas dinding CBP. Dengan demikian, diameter tulangan merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam mencapai stabilitas struktural dinding CBP pada galian dalam.

Kata Kunci : Galian dalam, *Contiguous bored pile*, Stabilitas dinding penahan tanah, Perkuatan angkur, Geo5

Abstract

Retaining walls are structures designed to resist lateral earth pressures in order to prevent soil movement or failure, particularly in areas with significant differences in ground elevation, including deep excavation works. One type of retaining wall commonly used for deep excavations is the Contiguous Bored Pile (CBP), which consists of a series of reinforced concrete piles constructed sequentially with minimal spacing between adjacent piles. This study aims to analyze the stability of a 12 m deep excavation supported by a CBP retaining wall system. The analysis was conducted using the Geo5 software, employing the Sheeting Check module to evaluate internal stability and the Slope Stability module to assess global stability. The CBP analyzed in this study has a diameter of 1 m and a length of 24 m. The parameters varied in this analysis include the diameter of CBP reinforcement bars, namely 25 mm and 32 mm, as well as the anchor positions. The results indicate that the CBP reinforced with 25 mm diameter bars does not satisfy the structural requirements, whereas the use of 32 mm diameter reinforcement meets the structural capacity demand, particularly in terms of bending moment resistance. Variations in anchor positions, with the first row placed at depths of 0.2 m or 1.0 m and the second row at depths of 2.7 m or 3.0 m, do not significantly affect the overall stability of the CBP system. Therefore, the reinforcement bar diameter is identified as the key parameter in achieving the structural stability of the CBP retaining wall for deep excavation applications.

Keyword : Deep excavation, Contiguous bored pile, Retaining wall stability, Anchor reinforcement, Geo5

*Penulis Korespondensi. Telp:+6282142047782;

Alamat E-mail : tiaradantis@gmail.com (Tiara Danti Sasikirana)

1. Pendahuluan

PLTU termasuk dalam pembangkit listrik termal konvensional, dan umumnya menggunakan bahan bakar seperti batubara, minyak, atau biomassa. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik [1]. Untuk menunjang kelangsungan hidup manusia PLTU mengonsumsi setidaknya 35.000 ton batu bara perhari [2]. Batu bara digunakan sebagai bahan bakar utama untuk menghasilkan energi panas, yang nantinya diubah menjadi energi listrik. Panas dari batu bara sengaja dipertahankan agar dapat menggerakkan turbin.

Pada PLTU, terdapat *Cooling Water Pump House* (CWPH) yang merupakan salah satu teknologi yang berfungsi untuk mendinginkan turbin pada PLTU. CWPH menggunakan pompa sentrifugal yang terus bergerak untuk menjalankan mesinnya, sehingga memerlukan perencanaan pondasi yang baik untuk menahan beban bekerja yang dilakukan CWPH [3]. Jika tidak direncanakan pondasi yang baik maka akan menyebabkan kelongsoran terutama di daerah pesisir. Selain longsor dampak yang disebabkan dari penggunaan CWPH yaitu erosi atau pengikisan tanah.

Penelitian ini meninjau PLTU yang berada di Provinsi Banten. Provinsi Banten berbatasan langsung dengan Selat Sunda di sisi barat dan selatan. Kondisi topografinya bervariasi, dengan sebagian wilayah datar yang berbatasan langsung dengan pantai dan sebagian lagi berbukit [4]. Dengan kondisi geologi yang seperti itu sangat mendukung terjadinya longsor dan erosi. Sehingga untuk mencegah terjadinya longsor, erosi dan pengikisan tanah dibutuhkan *temporary structure* yang berupa dinding penahan tanah untuk mengatasi kegagalan infrastruktur.

Dinding penahan tanah adalah struktur penahan tanah dimana stabilitasnya sebagian atau seluruhnya diperoleh dari tahanan pasif tanah yang terletak di bawah dasar galian. Oleh karena itu pentingnya kita merencanakan sistem dinding penahan tanah dengan baik agar tidak terjadi longsor atau ambles [5]. Namun, perencanaan DPT untuk CWPH pada PLTU Banten pertama kali direncanakan menggunakan DPT tipe *secant pile* dan terjadi kegagalan yang disebabkan karena kegagalan fungsi *secant pile* tersebut [6]. Karena terjadi kegagalan fungsi tersebut perencanaan kemudian diubah menjadi tipe *contiguous bored pile* (CBP).

CBP merupakan metode konstruksi dinding penahan tanah yang terdiri dari barisan tiang-tiang beton (*bored pile*) yang dibor secara berurutan dan saling berdekatan. Penggunaan dinding penahan tanah tipe *contiguous bored pile* memiliki

kelebihan yaitu stabilitas lateral yang baik selain itu metode pelaksanaan lebih mudah dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas galian dalam dengan kedalaman 12 m yang distabilkan menggunakan dinding CBP dan kekuatan angkur.

2. Teori Dasar

Tekanan Tanah Lateral

Menurut [NO_PRINTED_FORM] [7], tekanan tanah lateral merupakan gaya horizontal yang bekerja antara konstruksi dinding penahan tanah dengan massa tanah yang ditahannya dan dorongan tanah yang ada dibelakang struktur dinding penahan tanah.

1. Tekanan tanah dalam kondisi diam

Tekanan tanah K_0 yaitu kondisi dimana penahan tanah tidak bergerak ke salah satu arah baik ke kanan maupun kiri dari posisi awal, sedangkan massa tanah tetap berada dalam keadaan keseimbangan elastis (*elastic equilibrium*).

$$\sigma_r = \sigma_z K_r$$

Adapun rumus koefisien tekanan tanah diam menurut Terzaghi sebagai berikut :

$$K_r = \frac{\nu}{1-\nu}$$

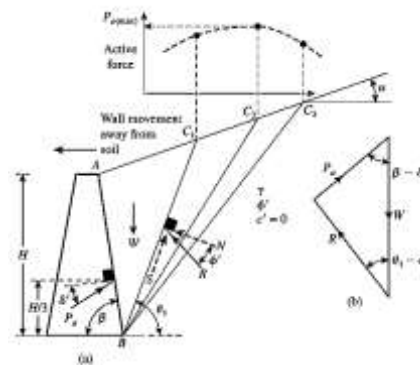
Keterangan :

$$\nu = \text{poisson ratio}$$

2. Tekanan tanah aktif

Tekanan tanah aktif yaitu kondisi dimana dinding penahan tanah menjauhi massa tanah yang ditahan hingga menuju keadaan runtuh, sedangkan massa tanah dalam keadaan keseimbangan plastis (*plastic equilibrium*).

Menurut teori Coulomb mempertimbangkan sebuah dinding penahan dengan sisi belakang yang membentuk sudut β terhadap horizontal



Gambar 1. Ilustrasi Tekanan Aktif Coulumb
Sumber : Das & Sivakugam Nagaratnam, 2016

- W = berat isian tanah
- R = gaya normal dan gaya geser penahan sepanjang bidang BC_1 , gaya R akan membentuk sudut ϕ terhadap garis normal yang ditarik ke arah BC_1 .
- P_a = gaya aktif persatuan panjang dinding, membentuk sudut δ terhadap garis normal

yang ditarik ke arah bagian belakang dinding.

θ_1 = sudut yang dibentuk oleh BC_1 terhadap garis horizontal

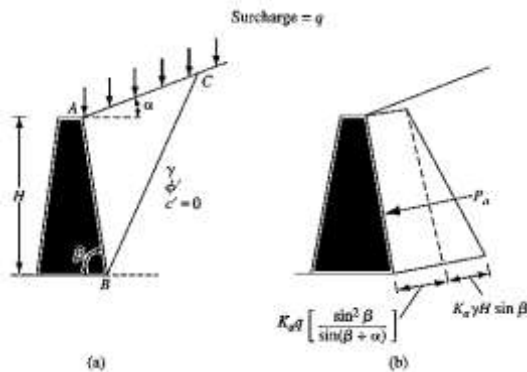
Maka nilai maksimum P_a pada Gambar 1a yang merupakan gaya tanah aktif Coulomb yang diilustrasikan dengan diperoleh dengan persamaan di bawah ini :

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

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi')}{\sin^2 \sin(\beta + \delta') \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \alpha)}{\sin(\beta + \delta') \sin(\alpha - \beta)} \right)}$$

Keterangan :

- H = tinggi dinding penahan tanah
- β = dinding penahan tanah vertikal
- α = tanah urugan horizontal
- δ' = sudut friksi antara tanah dan tiang ($\frac{2}{3}\phi'$ atau $\frac{1}{2}\phi'$)



Gambar 2. Tekanan Tanah Aktif Menurut Coulumb dengan Beban Tambahan Pada Tanah Urug

Sumber : Das & Sivakugam Nagaratnam, 2016

Jika terdapat beban tambahan seragam dengan intensitas q di atas urugan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Sehingga gaya aktif P_a dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

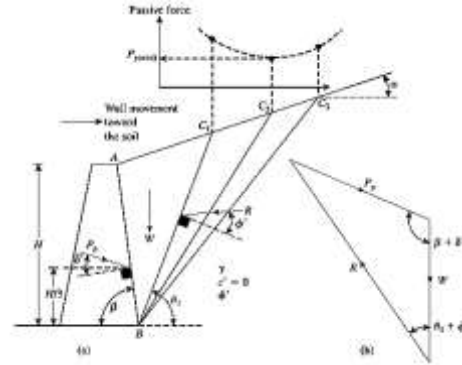
$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_{eq} H^2$$

$$\gamma_{eq} = \gamma + \left[\frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \alpha)} \right] \left(\frac{2q}{H} \right)$$

3. Tekanan Tanah Pasif

Tekanan Tanah Pasif terjadi jika dinding bergerak menuju tanah yang ditahan hingga menuju keadaan runtuh, sedangkan massa tanah dalam kondisi keseimbangan plastis (*plastic equilibrium*).

Pada Gambar 3 merupakan alustrasi tekanan pasif dinding penahan tanah menggunakan teori Coulomb [8].



Gambar 3. Tekanan Pasif Coulumb

Sumber : Das & Sivakugam Nagaratnam, 2016

Nilai minimum dari P_p dari ilustrasi tekanan pasif dinding penahan tanah di atas, secara matematis dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini :

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta + \phi')}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta') \left(1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' + \alpha)}{\sin(\beta + \delta') \sin(\beta + \alpha)} \right)}$$

Keterangan :

- H = tinggi dinding penahan tanah
- β = dinding penahan tanah vertikal
- α = tanah urugan horizontal
- δ' = sudut friksi antara tanah dan tiang ($\frac{2}{3}\phi'$ atau $\frac{1}{2}\phi'$)

Stabilitas Internal DPT

Menurut [NO_PRINTED_FORM] [8], stabilitas internal DPT dalam menggunakan metode tekanan tergantung dan memerlukan penentuan modulus reaksi tanah dasar, yang diasumsikan bersifat linear atau nonlinear. Analisis stabilitas internal dilakukan menggunakan metode *finite element*.

Dalam merencanakan stabilitas internal menurut pemodelan Geo 5 pemeriksaan menggunakan sistem angkur. Angkur tanpa prategang selalu dimodelkan sebagai pegas pada semua tahap konstruksi. Gaya dalam angkur dihitung berdasarkan deformasi struktur dan kekuan angkur. Perubahan gaya angkur akibat deformasi didefinisikan oleh persamaan di bawah ini :

$$\Delta F = \frac{kv \Delta w}{\cos \alpha}$$

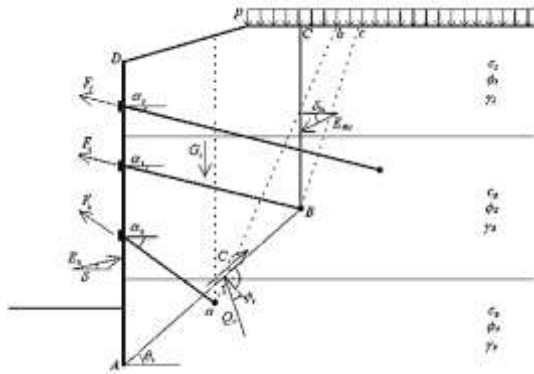
$$K = \frac{EA}{I}$$

Keterangan :

- V = jarak horizontal antar angkur
- Δw = kenaikan deformasi pada titik penerapan angkur
- E = modulus elastisitas dari angkur
- A = luas penampang melintang angkur
- I = panjang angkur
- k = kekakuan angkur

α = sudut kemiringan angkur

Analisis dilakukan per satu meter panjang dari struktur plat penahan. Oleh karena itu gaya angkur dihitung berdasarkan jarak antar angkur pada setiap lapisannya. Berikut merupakan skema lapisan angkur :



Gambar 4. Ilustrasi Dinding Turap dengan Angkur

Sumber : Das & Sivakugam Nagaratnam, 2016

Keterangan :

- E_A = resultan tekanan tanah aktif yang bekerja pada plat penahan (garis AD)
- E_{Ai} = resultan tekanan tanah aktif di atas angkur yang sedang diverifikasi (garis BC)
- G_i = berat tanah pada lapisan ke-i (ABCD), nilai ini juga mencakup beban tambahan
- p = yang diterapkan di permukaan tanah, dengan syarat kemiringan bidang gelincir θ_i pada AB lebih besar dari nilai rata-rata sudut gesek dalam tanah pada bidang tersebut. Jika kemiringan lebih kecil maka beban tambahan dipermukaan tanah tidak diperhitungkan.
- C_i = resultan kohesi tanah pada bidang gelincir AB
- f_j, f_k = gaya yang timbul pada angkur lainnya
- Q_i = reaksi pada bidang gelincir AB
- F_i = gaya angkur yang sedang dianalisis, besarnya gaya maksimum yang diizinkan yang merupakan hasil dari analisis keseimbangan pada lapisan ke-i.

Persamaan ini menghasilkan dua persamaan yang diselesaikan untuk mendapat nilai reaksi tanah Q_i dan gaya maksimum yang diizinkan pada angkur F_i .

- Modulus of Sub Soil Reaction

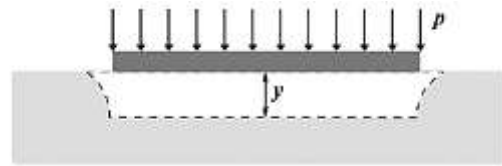
Kondisi tersebut merupakan kondisi dimana tanah dianggap sebagai serangkaian pegas horizontal. Modulus reaksi horizontal tanah umumnya sesuai dengan kekuan pegas model

winkler yang menggambarkan hubungan antara beban yang diberikan pada pelat kaku dan deformasi tanah yang dihasilkan dalam persamaan dibawah ini :

$$P = k \times y$$

Keterangan :

- P = beban yang bekerja sepanjang antar muka pelat tanah
- k = kekuan pegas model winkler (modulus reaksi tanah)
- y = perpindahan (penurunan / gerakan) plat ke dalam tanah dasar



Gambar 5. Ilustrasi Modulus Reaksi Tanah Dasar

Sumber : www.finesoftwaregeo5.com

Stabilitas Global

- Stabilitas Lereng

Menurut SNI 8460 (2017), factor keamanan minimum yang diisyaratkan untuk analisis menggunakan model pseudostatik adalah lebih besar dari 1,1 ($FK > 1,1$) dengan menggunakan koefisien seismik yang didapatkandari percepatan puncak di permukaan (PGA). Bowles (1989) menjelaskan keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$SF < 1,07$	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
$1,07 \geq SF \geq 1,25$	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 \geq SF$	Lereng Relatif Stabil	Longsor jarang terjadi

Sumber : Bowles, 1989

Struktural DPT CBP

Menurut pemodelan Geo 5, dalam menganalisis tiang beton bertulang untuk mengetahui memenuhi persyaratan desain struktur atau tidak menggunakan metode deformasi batas yang mengacu pada standar ACI.

$$\rho = \frac{4As}{\pi D_p^2}$$

$$\rho_{min} = 0,01$$

$$\rho_{max} = 0,08$$

Analisis perhitungan balok dalam kondisi di mana gaya tekan (kompresi) merupakan beban utama atau dominan yang bekerja pada elemen tersebut

dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah :

$$\rho = 0,5 \frac{4A_s}{\pi D_p^2}$$

$$\rho_{min} = \frac{\max(3\sqrt{f'c}; 200)}{f_y}$$

Keterangan :

D_p = diameter tiang pondasi

A_s = luas tulangan

Gaya geser ultimit (*ultimate shear strength*) pada beton adalah kapasitas maksimum suatu elemen beton untuk menahan gaya geser sebelum mengalami kegagalan geser. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung gaya geser ultimit V_c yaitu :

$$V_c = \left[\max(2; 8\sqrt{\rho\omega}) \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6Ag} \right] 0,8D_p^2 \leq 5\sqrt{f'c} 0,8D_p^2$$

Jika gaya geser ultimate beton terlampaui, maka kapasitas geser ultimate maksimum V_{max} dan kekuatan penampang beton bertulang V_s diperiksa menggunakan rumus dibawah ini :

$$V_{maz} = V_c + 8\sqrt{f'c} b \omega 0,8D_p$$

$$V_c = \frac{A_v f_{yt} 0,8D_p}{s}$$

Keterangan :

$$f_{yt} \leq 60000 \text{psi}$$

$$\phi = 0,75$$

Angkur Tanah

- Pembebanan Angkur

Gaya horizontal yang dihitung dari analisis gaya harus dikonversikan kepada angkur karena aksial angkur tidak sejajar dengan dinding penahan tanah sebagai berikut :

$$T_w = \frac{P}{\cos \theta}$$

Keterangan :

T_w = beban angkur desain

P = gaya horizontal angkur

θ = sudut instalasi angkur

- Kapasitas Tarik Angkur

$$R_{ult} = \sigma v' \cdot A_s \cdot L_s \cdot K_s$$

Keterangan :

R_{ult} = kapasitas batasangkur

$\sigma v'$ = tegangan vertikal efektif pada tengah-tengah *fixed length*

A_s = luas selimut *fixed length*

L_s = panjang *fixed length*

K_s = koefisien angkur yang tergantung pada tipe dan kepadatan tanah.

Tabel 2. Koefisien Angkur K_s

Tipe Tanah	Kepadatan Tanah		
	Lepas	Kompak	Padat
Lanau non plastis	0,1	0,4	1
Pasir halus	0,2	0,6	1,5
Medium sand	0,5	1,2	2
Pasir kasar kerikil	1	2	3

Sumber :

SNI 8460,2017

Tegangan tarik izin (P_w) dapat ditentukan :

$$P_w = \frac{P_u}{F_t}$$

Keterangan :

P_u = Tegangan tarik *ultimate*

F_t = Faktor keamanan desain untuk tendon

Kemudian jumlah *strand* (n) dapat dihitung berdasarkan :

$$n = \frac{T_w}{P_w}$$

Program Bantu Geo5

Menurut [NO_PRINTED_FORM] [10], Program bantu Geo 5 merupakan program bantu yang dikhususkan untuk menghitung dan menganalisis masalah-masalah yang berkaitan dengan pekerjaan tanah, misalnya pekerjaan pemancangan, dinding penahan tanah (*retaining Wall*), menganalisis penurunan tanah (*settlement*), menganalisis stabilitas lereng (*slope stability*), dan lain sebagainya.

3. Metodologi

Analisa Data Tanah

Data hasil pengujian tanah diperlukan untuk menentukan parameter-parameter kekuatan tanah yang akan digunakan dalam perhitungan. Pengujian tanah yang dilakukan yaitu pengujian lapangan dan pengujian laboratorium. Parameter parameter tanah yang diperlukan dapat dihitung menggunakan korelasi terhadap hasil SPT, namun dalam penentuan parameter tanah lebih diutamakan menggunakan hasil uji laboratorium. Parameter tanah yang diperlukan yaitu, berat volume, sudut geser dalam, kohesi tanah, poisson ratio, modulus elastisitas tanah.

Analisa Dinding Penahan Tanah Eksisting

Analisa dinding penahan tanah eksisting dimulai dengan pemodelan dinding CBP. Dinding CBP yang dimodelkan dan dievaluasi pada tugas Akhir ini yaitu dinding CBP panjang 24 meter.

Perencanaan Alternatif Dinding CBP

Jika displacement lateral, stabilitas dinding, serta steel reinforcement yang terjadi pada CBP eksisting tersebut tidak memenuhi batas minimum dan syarat SNI atau tidak efisien maka akan dilakukan perencanaan ulang CBP. Setelah itu akan dilakukan pengecekan kembali terhadap dinding penahan CBP hasil evaluasi terhadap tiga kriteria yang ditinjau. Perencanaan ulang akan dilakukan hingga kriteria-kriteria memenuhi persyaratan SNI.

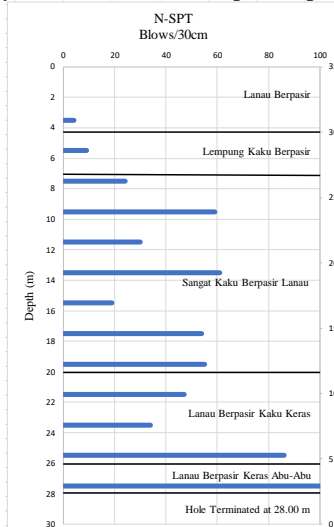


Gambar 6. Diagram Alir Metodologi Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Analisa Data Tanah

Berdasarkan penyelidikan yang telah dilakukan pada titik DB-09 uji SPT dilakukan hingga kedalaman 30 meter. Data N-SPT titik DB-09 dari hasil penyelidikan tanah ditampilkan pada



Gambar 7. Grafik Nilai N-SPT terhadap Kedalaman

Tabel 3. Data Parameter Tanah

No.	Kedalaman	Deskripsi	Parameter Tanah									
			N-SPT Blows/30 cm	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ_{ef} °	C_{ef} kPa	$\phi_{struc-soil}$ °	V	Eoed Mpa	ϕ °	e
1	0.00 - 4.55	lanau berpasir	4	15	18	26	5	17.3	0.33	4.0	25	1.23
2	-4.55 - 7.00	lempung kaku berpasir	9	16	19	28	6	18.7	0.34	5.0	30	1.23
3	-7.00 - 20.00	sangat kaku berpasir lanau	30	17	20,4	30	15	20.0	0.30	15.0	35	1.23
4	-20.00 - 26.00	lanau berpasir kaku keras	47	18	21	31	25	20.7	0.30	20.0	40	1.23
5	-26.00 - 28.00	lanau berpasir keras abu-abu	100	21	22	33	50	22.0	0.34	50.0	45	1.23

Analisa Pembebanan

- Beban jalan

Menurut Standar Nasional Indonesia 8460 (2017), beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan dan besarnya menggunakan beban lalu lintas sebesar 15 kPa.

Tabel 4. Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (KPa)	Beban Luar Jalan (KPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Sumber :
SNI 8460,2017

- Beban gempa

Pada lokasi proyek didapatkan dari output rsa.ciptakarya.pu.go.id PGA sebesar 0,23g.

Tabel 5. Data N-SPT

No	Kedalaman (m)	Tebal (m)	N-SPT	N = Tebal/N - SPT
1	0	0	0	0.00
2	2	2	2	1.00
3	4	2	4	0.50
4	6	2	9	0.22
5	8	2	24	0.08
6	10	2	59	0.03
7	12	2	30	0.07
8	14	2	61	0.03
9	16	2	19	0.11
10	18	2	54	0.04
11	20	2	55	0.04
12	22	2	47	0.04
13	24	2	34	0.06
14	26	2	86	0.02
15	28	2	100	0.02

Maka, perhitungan ΣN dapat dilihat dibawah ini.

$$\begin{aligned} \Sigma N &= 0 + 1 + 0,5 + 0,22 + 0,08 + 0,03 + + 0,07 \\ &+ 0,03 + 0,011 + 0,04 + 0,04 + 0,04 + 0,06 \\ &+ 0,02 + 0,02 \\ &= 2,26 \\ N &= \frac{30}{\Sigma N} \\ &= \frac{30}{2,26} \\ &= 13,26 \end{aligned}$$

Karena $13,26 < 15$ maka termasuk dalam kelas situs tanah lunak.

Tabel 6. Faktor PGA dan Periode 0,2 Detik (F_{pga} dan F_a)

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1 Ss ≤ 0,25	PGA = 0,1 Ss = 0,5	PGA = 0,1 Ss = 0,75	PGA = 0,1 Ss = 1,0	PGA = 0,1 Ss = 1,25
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SE)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SF)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : AASHTO, 2012

$$\begin{aligned}
 Kh &= 0,5 \times Fa \times PGA \\
 &= 0,5 \times 1,5 \times 0,23 \\
 &= 0,15 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Analisa Struktural Menggunakan Geo5

- Internal Stability

Tabel 7. Verifikasi Stabilitas Internal CBP Eksisting

No.	Anchor force [kN]	Max.allow.force in anchor [kN]	Factor of safety
1	409.76	20889.23	50.98
2	420.16	20072.03	47.77

Berdasarkan hasil analisis $FS = 47.77 > FS_{min} 1.00$ sehingga struktur masih aman atau memenuhi syarat menurut kriteria Geo5.

- Stabilitas Eksternal

Dari pemodelan CBP menggunakan program bantu Geo5 didapat $FS = 1,03 > 1,00$ yang berarti memenuhi. *Output* yang didapat dari program bantu.



Gambar 8. Output Analisa External Stability CBP Eksisting

- Dimensioning

- Selimut beton = 200 mm
- Tulangan utama
 - Jumlah tulangan = 40 tulangan
 - Diameter tulangan = 29 mm
- Tulangan Sengkang
 - Diameter tulangan = 22 mm
 - Jarak antar sengkang = 150 mm

Berdasarkan spesifikasi di atas diperoleh bahwa gaya geser, momen, dan prinsip perancangan telah memenuhi *standar* seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Input Dimensi Struktur CBP Eksisting

- Angkur

Pada tahap ini dilakukan verifikasi terhadap angkur yang digunakan pada kondisi CBP eksisting menggunakan program Geo5. Hasil verifikasi angkur dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Anchors Verification

No	Depth z [m]	Max. force F [kN]	Anchor strength R_t [kN]	Pull-out res. (soil) R_e [kN]	Pull-out res. (grouting) R_c [kN]	Verification
1	0.5	409	440.6	1306.27	1315.60	ok
2	3.0	420	440.6	1214.22	1315.60	ok

Analisis Struktural CBP Alternatif Desain Menggunakan Geo5

Analisis struktural terhadap alternatif desain CBP dengan memanfaatkan perangkat lunak Geo5. Terdapat 4 variabel desain yang digunakan dalam alternatif desain seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Variabel Desain

Alternatif ke-	Diameter CBP	Diameter tulangan	Posisi angkur 1	Posisi angkur 2
	m	mm	m	m
1	1	32	1	3,5
2	1	25	1	3,5
3	1	32	0,2	2,7
4	1	25	0,2	2,7

Dari 4 variabel di atas yang telah dianalisis menggunakan program bantu Geo5 mendapat hasil seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Tabel Output Variabel Desain Pemrograman Geo5

Alt. ke-	Stabilitas Internal	Stabilitas eksternal	Shear	Bending	Design Principle	Angkur
1	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	OK	OK	OK	No	OK	OK
3	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK	No	OK	OK

Dari Tabel 10. Dapat dilihat bahwa desain alternatif yang memenuhi syarat yaitu alternatif 1 dan alternatif 3, sedangkan untuk alternatif 2 dan alternatif 4 tidak memenuhi pada *section dimensioning bending*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa kestabilan dinding penahan tanah pada salah satu PLTU di Banten untuk perkuatan tambahan *cooling Water Pump House* menurut analisa struktur menggunakan aplikasi pemrograman Geo5 didapat bahwa kondisi CBP eksisting memenuhi kriteria desain.

CBP alternatif 1 dan 3 juga telah memenuhi kriteria desain Geo5 yaitu stabilitas internal, stabilitas eksternal, dimensioning, dan verifikasi angkur. Sedangkan untuk CBP alternatif 2 dan 4 tidak memenuhi kriteria desain Geo5 pada *section dimensioning bending* karena tidak memenuhi persyaratan kebutuhan tulangan lentur.

Daftar Pustaka

[1] H. Wahyono, "Pemanfaatan Teknologi Informasi dalam Penilaian Hasil Belajar pada Generasi Milenial di Era Revolusi Industri 4.0", doi: 10.21009/pbe.3-1.23.
 [2] Hartana, "Proses Membentuk Perusahaan Baru Dalam Pelaksanaan Ekspansi

Perusahaan Group di Sektor Pertambangan Batubara," 2017.
 [3] L. N. L. Toruan, "Distribusi Parameter Fisika-Kimia Perairan di sekitar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Muara Karang, Teluk Jakarta, Indonesia," *Water and Marine Pollution Journal: PoluSea*, vol. 3, no. 1, Apr. 2025, doi: 10.21776/ub.polusea.2025.003.01.3.
 [4] Portal Resmi Provinsi Banten, "Geografi Provinsi Banten."
 [5] Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. SNI 8460:2017. Jakarta," 2019.
 [6] M. A. Khabib, "Reintegrasi Schedule Pekerjaan Cooling Water Pump House dan Balance of Plant Akibat Kegagalan Struktur Secant Pile Sebagai Struktur Dinding Penahan Tanah. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana Jakarta 2022.," Jakarta, 2022. [Online]. Available: <https://lib.mercubuana.ac.id/>
 [7] H. C. Hardiyatmo, *Teknik Fondasi 1, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta*. Gramedia Pustaka Utama, 1996.
 [8] B. M. Das and Sivakugam Nagaratnam, "Principles of Foundation Engineering, 2016," 2016.
 [9] Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia. Persyaratan perancangan geoteknik. SNI 8460:2017. Jakarta," 2017, [Online]. Available: www.bsn.go.id
 [10] A. B. Listyawan, S. Trinugroho, and A. Nugraha, "Desain Dimensi Dinding Penahan Tanah Dengan Menggunakan Program Geo 5. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.," 2013.