

ANALISIS LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA PADA PEMBANGUNAN TOWER TRANSMISI 150 kV PLTU. LABUHAN ANGIN SIBOLGA

Oleh :

Masriani Endayanti ¹⁾

Junihar Bintang ²⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2)}

E-mail:

endayanti22@gmail.com ¹⁾

juniharbintang@gmail.com ²⁾

ABSTRACT

One of the impacts of earthquakes is the loss of strength of the soil layer due to vibrations called liquefaction. Liquefaction generally occurs in poorly graded sandy soils. This kind of soil is found in the construction of the 150 kV Transmission Tower of the Labuhan Angin Sibolga PLTU. Therefore, the analysis of the potential for liquefaction is an important thing to do in the design of the transmission tower foundation. Geological threats, especially liquefaction events during large earthquakes on earthquake-prone routes, are something that can occur, and can cause extensive damage to buildings and infrastructure. Labuhan Angin Sibolga is an earthquake-prone area, where a 150 kV Transmission Tower was built with a loose sand-graded soil texture. To withstand the weight of a heavy building on the ground, a solid foundation is needed. If the soil conditions on the surface are not able to withstand the building, then the building load must be transferred to the hard soil layer below it. For this reason, deep foundation construction is used for the construction of the 150 kV Transmission Tower at PLTU Labuhan Angin Sibolga. The bore pile foundation planner must be able to bear vertical forces, horizontal forces and moments that occur due to lateral deformation caused by liquefaction. Sufficient resistance to carry this load can be obtained from the larger and stiffer pile dimensions, so the pile diameter is 60 cm. Based on the results of soil inspection (sondir test), for this transmission tower, bore pile foundation type (4 pile configuration) is obtained at a depth of 10 m with total skin friction $T_f = 721.80$ kg/cm (sondir data), diameter 60 cm.

Keywords: *Liquefaction, Due to Earthquake, Construction of Transmission Tower*

ABSTRAK

Salah satu dampak yang disebabkan oleh gempa bumi adalah hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran yang disebut likuifaksi. Likuifaksi pada umumnya terjadi pada tanah pasir yang bergradasi buruk. Tanah seperti ini dijumpai pada pembangunan Tower Transmisi 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga. Oleh karena itu analisis potensi likuifaksi menjadi hal penting dilakukan dalam desain pondasi tower transmisi tersebut. Ancaman geologis khususnya peristiwa likuifaksi saat gempabumi besar pada

jalur rawan gempabumi merupakan sesuatu yang dapat terjadi, dan dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur. Labuhan Angin Sibolga termasuk daerah rawan gempa, dimana disana dibangun Tower Transmisi 150 kV dengan tekstur tanah bergradasi pasir lepas yang. Untuk menahan beban bangunan yang berat di atas tanah tersebut diperlukan pondasi yang kokoh. Apabila kondisi tanah di permukaan tidak mampu menahan bangunan tersebut, maka beban bangunan harus diteruskan ke lapisan tanah keras di bawahnya. Untuk itu dipakai konstruksi pondasi dalam untuk pembangunan Tower Transmisi 150 kV di PLTU Labuhan Angin Sibolga. Perencana pondasi bore pile, harus mampu memikul gaya vertikal, gaya horizontal dan momen yang terjadi akibat adanya deformasi ke arah lateral yang disebabkan oleh likuifaksi. Tahanan yang cukup untuk memikul beban ini dapat diperoleh dari dimensi tiang yang lebih besar dan lebih kaku, sehingga diambil diameter tiang 60 cm. Berdasarkan hasil pemeriksaan tanah (uji sondir), untuk tower transmisi ini diperoleh tipe pondasi bore pile (konfigurasi 4 pile) pada kedalaman 10 m dengan total skin friction $\Sigma T_f = 721,80 \text{ kg/cm}$ (data sondir), diameter 60 cm.

Kata Kunci: Likuifaksi , Akibat Gempa, Pembangunan Tower Transmisi

1. PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah perubahan sifat tanah menjadi seperti benda cair akibat peningkatan tekanan air pori yang menyebabkan tanah kehilangan ketahanan gesernya.

Peristiwa likuifaksi sangat rentan terjadi pada tanah pasir (*non kohesif*) dalam keadaan lepas (*gradasi seragam*) dan jenuh air, karena tanah tersebut lebih banyak berpotensi menyimpan air sehingga dapat menyebabkan kehilangan kekuatan geser (τ) pada tanah. Berkurangnya kekuatan geser tanah akibat beban siklik secara tiba-tiba dapat meningkatkan tekanan air pori dan berakibat terhadap berkurangnya tegangan vertikal efektif (σ'). Jika tegangan vertikal efektif turun menjadi nol, maka tanah berperilaku sebagai cairan dan tidak mempunyai kekuatan lagi untuk menopang bangunan di atasnya, fenomena ini disebut likuifaksi (*liquefaction*).

Dalam studi ini akan dilakukan analisis likuifaksi akibat gempa pada

pembangunan tower transmisi 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga. Pada saluran transmisi ini menggunakan pondasi *bore pile* yang merupakan jenis pondasi dalam. Pemilihan pondasi *bored pile* pada proyek ini dilakukan karena tanah dasar yang akan memikul beban tower adalah tanah *difficult soil*.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa stabilitas tanah terhadap likuifaksi dan mendapatkan gambaran kondisi keadaan tanah.
2. Untuk Mengetahui Metode Pelaksanaan pekerjaan pondasi Tiang Bor (*Bore Pile*) Tower SUTT 150 kV.
3. Untuk Mengetahui Perencanaan Pondasi Tiang Bor (*Bor Pile*) pada Tower SUTT 150 kV pada tanah pasir lepas yang terlikuifaksi.

Batasan masalah yang dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membahas tentang likuifaksi pada tanah pasir lepas sesuai dengan jenis tanah di lokasi proyek pembangunan tower 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga.
2. Melakukan perhitungan *total skin friction* (Σt_f) dan Q_{cp} untuk memperoleh kebutuhan kedalaman pile yang akurat dan efisien pada tanah pasir lepas dengan menetapkan properti mekanis material dan beban-beban rencana untuk pekerjaan pondasi *bore pile* pondasi tower T/L 150 kV tipe tower AA, serta menghitung besarnya gaya tekan (*compression*) dan gaya angkat (*uplift*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran. Getaran tersebut dapat berasal dari gempa bumi maupun yang berasal dari pembebanan cepat lainnya. Ketika mengalami getaran tersebut sifat lapisan tanah berubah menjadi seperti cairan sehingga tidak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya. Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air, dimana seluruh rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Pada saat mengalami getaran, air ini memberikan suatu tekanan di partikel-partikel tanah sehingga mempengaruhi kepadatan dari tanah tersebut. Kerentanan terhadap likuifaksi akan menurun dengan bertambahnya muka air tanah. Pengaruh likuifaksi dapat langsung diamati dilapangan dimana muka air tanah berada beberapa meter dari permukaan tanah.

Secara visual peristiwa likuifaksi ditandai munculnya lumpur pasir dipermukaan tanah berupa semburan pasir (*sand boil*), rembesan air melalui rekahan tanah atau tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan tanah. Terjadinya penurunan tanah dan perpindahan lateral. Pada saat gempa terjadi gelombang gempa merambat kesegala arah, salahsatunya adalah perambatan gelombang geser yang berasal dari pusat pelepasan energi. Sebelum terjadinya gempa bumi, tekanan air pada tanah relatif rendah. Namun setelah menerima getaran, tekanan air dalam tanah meningkat, sehingga dapat menggerakkan partikel-partikel tanah dengan mudah. Setelah digerakkan oleh air, maka partikel tanah tidak memiliki lagi kekuatan atau daya dukung, sehingga daya dukung tanah sepenuhnya berasal dari tegangan air pori. Pada kondisi ini, tanah sudah berbentuk cairan yang tidak lagi memiliki kestabilan, sehingga beban-beban yang ada di atas tanah tersebut seperti beban dari struktur bangunan akan ambles kedalam tanah.

Secara umum penyebab utama peristiwa pencairan tanah pasir akibat gempa adalah peningkatan air pori berlebih akibat tegangan siklik dalam getaran tanah. Akibat struktur tanah pasir menerima tegangan geser secara berturut-turut struktur tersebut akan mengecil volumenya atau dengan kata lain memadat, tetapi karena peristiwa ini terjadi dengan sangat cepat maka pengecilan volume dicegah karena air tidak sempat keluar dari pori-pori tanah

dan terjadi pengalihan tegangan ke air pori dan pengurangan tegangan kontak antara tanah pasir.

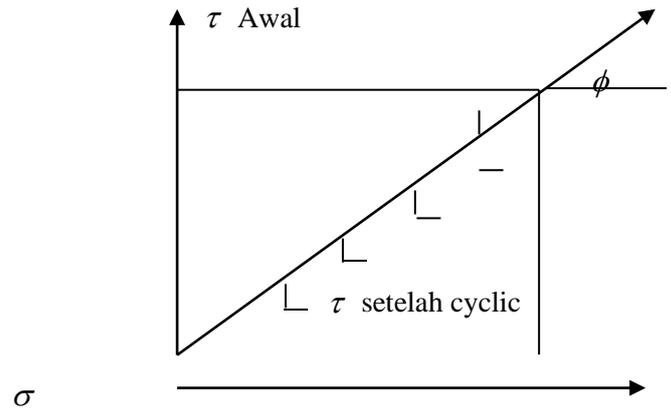
Deformasi yang cukup besar akan mengakibatkan tegangan air pori mendekati tegangan total elemen tanah pada kedalaman yang ditinjau. Secara teoritis deformasi ini tidak terbatas (pengaliran). Pada tanah pasir yang lepas maka kondisi tersebut akan lebih cepat dicapai. Proses likuifaksi dengan cara tersebut dengan lapisan pasir dengan kombinasi antara kepadatan relatif tanah dan tegangan keliling dan getaran tertentu. Zona ini dapat terjadi didekat permukaan maupun pada kedalaman yang tergantung kondisi pasir dan tingkat getaran akibat gempa. Pencairan lapisan atas pasir dapat terjadi karena pengaliran air oleh peristiwa pencairan yang terjadi pada lapisan bawahnya. Proses ini dapat dijelaskan dengan formula Coulomb yaitu :

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

.....
 (2.1)

dimana :

- τ : kekuatan geser tanah
- σ : tegangan total normal pada bidang geser
- σ' : tegangan efektif normal pada bidang geser
- u : tegangan air pori
- ϕ : sudut geser dalam pada keadaan tekanan normal
- ϕ' : sudut geser dalam pada keadaan tekanan efektif



Gambar 2.1. Proses likuifaksi pada tanah non kohesi

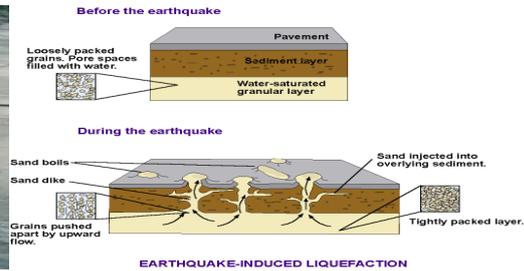
Dalam hal ini nilai kekuatan geser tanah tidak lagi dipengaruhi oleh adanya perubahan tegangan air pori. Dari rumus di atas dapat ditarik kenyataan tentang likuifaksi yang biasa terjadi pada tanah pasir (*non kohesif*) yang tidak memiliki nilai C (*chohesi*).

Pada kondisi tanah saat normal tampak bahwa banyak rongga antar partikel tanah yang penuh air. Pada kondisi normal, air tersebut memiliki tekanan air pori yang relatif rendah. Pada saat menerima tekanan dari getaran secara tiba-tiba, air tersebut akan terdesak sehingga ia akan menaikkan tekanannya untuk dapat mencari jalan keluar. Namun, pada saat terjadinya gempa, air tersebut tidak memiliki cukup waktu untuk berdisipasi keluar dari tanah melalui rongga-rongga tanah, sehingga sebagai gantinya air tersebut mendorong partikel-partikel tanah sehingga beberapa partikel tanah sebelumnya berhubungan, menjadi menjauh. Dan akhirnya partikel tanah tidak dapat mendistribusikan beban lagi dengan maksimal. Pada kondisi seperti ini, sebagian besar beban dipikul oleh

air. Sehingga pemikulan beban pada tanah tersebut menjadi tidak stabil. Dari



dalam tanah akan menyemburkan air (*sand boils*).



Gambar 2.1. Sand Boiling Akibat Likuifaksi

Beban dari gedung pada tanah yang mengalami likuifaksi, mengakibatkan gedung tersebut akan tenggelam ke dalam tanah. Dalam satu kejadian yang lebih ekstrim lagi, tekanan air pori dapat menjadi sangat tinggi sehingga banyak partikel yang tedorong sehingga tidak ada lagi yang berhubungan. Dalam kasus-kasus yang demikian, kekuatan tanah akan menjadi sangat kecil, dan akan bertindak lebih seperti suatu zat cair dibanding suatu padat.

Potensi Likuifaksi

Tanah yang dianggap berpotensi tinggi mengalami likuifaksi adalah tanah pasir, meskipun tidak menutup kemungkinan tanah jenis lain dapat mengalami likuifaksi jika syaratnya terpenuhi. Tanah dengan partikel bulat dan seragam juga dianggap berpotensi mengalami likuifaksi karena memiliki volume pori yang tinggi. Ishihara (1985) menggunakan perbandingan tebal tanah dipermukaan yang tidak berpotensi mengalami likuifaksi terhadap tebal tanah di bawah lapisan tanah yang dapat mengalami likuifaksi.

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah jenuh, sehingga kedalaman muka air tanah akan mempengaruhi kerentanan terhadap likuifaksi. Kerentanan terhadap likuifaksi akan menurun dengan bertambah dalamnya muka air tanah, dan pengaruh likuifaksi secara langsung dapat diamati dilapangan dimana muka air tanah berada beberapa meter dari permukaan tanah. Daerah dimana level muka air tanah berfluktuasi secara jelas, bahaya likuifaksi juga akan berubah.

Likuifaksi telah banyak menjadi penyebab dari hancurnya bangunan struktur di beberapa kejadian gempa bumi di Indonesia di kawasan pascagempa. Ada pula longsor lereng tanah, kegagalan pondasi jembatan (*loss of bearing capacity*), dan bangunan ambles (*ground settlement*). Akibat likuifaksi akan terjadi : 1). Hilangnya daya dukung, 2). Penurunan yang berlebihan, 3). *Lateral spreading*, 4). *Sand Boilling*, 5). *Flow*, 6). *Ground oscillation*

Evaluasi Potensi Likuifaksi :

Potensi likuifaksi pada suatu lapisan tanah ditentukan dari kombinasi sifat-sifat tanah, faktor lingkungan dan karakteristik gempa. Faktor spesifik untuk sifat tanah meliputi modulus geser dinamik tanah, sifat redaman, karakteristik butiran dan kepadatan tanah. Faktor lingkungan meliputi proses pembentukan tanah, usia deposit, sementasi, koefisien tekanan tanah lateral. Faktor karakteristik gempa meliputi intensitas getaran, lama getaran, besar dan arah getaran. Potensi likuifaksi pada suatu lokasi umumnya dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FS_1) yang didefinisikan sebagai rasio antara tahanan likuifaksi yang tersedia (*Cyclic Resistance Ratio*, CRR) dengan tegangan cyclic yang diakibatkan oleh gempa (*Cyclic Stress Ratio*, CSR). Kedua parameter tegangan ini umumnya dinormalisasi dengan tegangan vertikal efektif. Sehingga dapat dituliskan :

$$SF_L = \frac{CRR}{CSR} > 1,50 \dots\dots\dots (2.2)$$

Metode yang dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan terhadap likuifaksi ini terdiri dari metode analitis, permodelan dan

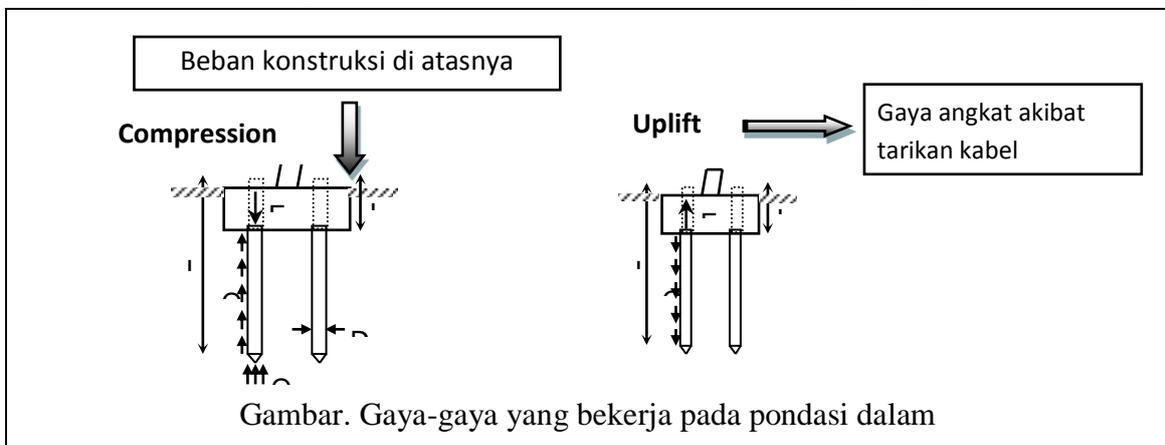
prosedur empiris. Karena terdapat kesulitan-kesulitan dalam metode analitis dan permodelan, maka metode empiris menjadi sebuah standard prosedur praktis untuk menentukan kerentanan terhadap likuifaksi.

Pengertian Daya Dukung Pondasi

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadinya keruntuhan geser maupun penurunan yang tidak diinginkan. Lapisan tanah tempat pondasi diletakkan, harus mampu mendukung seluruh beban tersebut tanpa terjadi deformasi yang berarti atau deformasi yang terjadi masih dalam batas toleransi yang diizinkan. Pada prinsipnya penurunan yang terjadi harus sekecil mungkin.

Total Skin Friction (Σf_f) dan Q_{cp}

Skin friction adalah daya lekat tanah yang bekerja pada pondasi *bored pile* ketika beban telah disalurkan ke bawah yaitu gaya *uplift* (angkat) akibat gaya lateral yang dihasilkan saat *stringing* (penarikan kabel) pada tower transmisi. Gaya yang terjadi diilustrasikan seperti gambar berikut.



Pada kondisi seperti ini berlaku persamaan :

1. Compression : $F_c \leq P_u$
2. Uplift : $F_{up} \leq T_u$

dimana:

- F_c = gaya tekan maksimum dari struktur atas
 P_u = kapasitas tekan pile maksimum
 F_{up} = gaya tarik maksimum dari struktur atas

- 1 Nama Proyek : Pekerjaan Pengadaan Dan Pemasangann Tower dan Pondasi Tower 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga.
- 2 Pemilik : PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan II
- 3 Jenis Bangunan : Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
- 4 Lokasi Proyek : Labuhan Angin Sibolga
- 5 Perencana : PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan II

3.2. Data Teknis

3.2.1. Spesifikasi Pondasi Bore Pile

Data ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangkit, dengan data sebagai berikut :

1. Spesifikasi Material
 - a. Beton
Mutu beton : K-225 dan K-175
Kuat tekan beton f_{cu} : 187 kg/cm²
Modulus Elastisitas E_c : 87,460 kg/cm²
 - b. Besi Beton
Mutu besi beton : Tulangan Utama U24 (D16, D19) Tulangan Senggang (Ø10)
2. Spesifikasi Pondasi Bore Pile
Diameter : 60 cm
Berat pile (γ_{pd}) : 679 kg/m³

Data umum dari Proyek Pekerjaan Pengadaan Dan Pemasangann Tower Dan Pondasi Tower 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga adalah sebagai berikut :

- Berat Submerger pile (γ_{pw}) : 396 kg/m³
Luas penampang (A_p) : 2,827.43 cm²
3. Spesifikasi Alat Bore Pile
Jenis Mesin : Dompeng
Kapasitas Mesin : 7,50 HP dengan kecepatan rotasi 1.500 rpm.
Rotasi ini diperlambat dengan speed reducer dengan ratio 1 : 40 sehingga diperoleh out put 90 kpm pada 37,50 rpm.
Kedalaman Bore : 30 m
Diameter Mata Bor : 60 cm
Metode Pengeboran : Bor Kering (*dry drilling*)
 4. Spesifikasi Alat Penyelidikan Tanah/Pengujian
Alat Sondir : Kapasitas Dutch Cone Penetration Test 2,5 ton

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan perencanaan pondasi bore pile pada proyek tower transmisi 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga merupakan tahapan perhitungan dengan menggunakan beberapa metode sesuai dengan peraturan-peraturan yang telah ditetapkan. Tahapan perhitungan dimulai dengan penentuan dimensi tiang, perhitungan daya dukung tiang, perhitungan jumlah tiang pondasi, penentuan dimensi dan penulangan pile cap. Dimana perhitungan pondasi tersebut berdasarkan keadaan gempa yang harus mampu memikul gaya vertikal, gaya horizontal dan momen yang terjadi akibat adanya deformasi ke arah lateral yang terjadi akibat adanya likuifaksi.

4.1. Propertis Mekanis Material

1. Beton

Mutu beton	K
	225
Kuat tekan beton	$f_{cu} = 187 \text{ Kg/cm}^2$
Modulus elastisitas	$E_c = 87,460 \text{ Kg/cm}^2$
Berat jenis beton kering	$\gamma_{cd} = 2,400 \text{ Kg/m}^3$
Berat jenis beton submerged	$\gamma_{cw} = 1,400 \text{ Kg/m}^3$
Tegangan bonding ijin	$f_{bo} = 13.67 \text{ Kg/cm}^2$
Faktor reduksi kekuatan lentur	$\phi_f = 0.80$
Faktor reduksi kekuatan geser	$\phi_s = 0.60$
Faktor reduksi kekuatan tekan	$\phi_c = 0.65$

2. Baja Tulangan

Modulus Elastisitas $E_s = 2,100.000 \text{ Kg/cm}^2$ Mutu baja U24 utk tulangan polos ($\phi 10 \text{ mm}$) Tegangan leleh $f_y = 2,400 \text{ Kg/cm}^2$ Mutu baja U39 utk tulangan ulir ($\phi 13 \text{ mm}$

Tegangan leleh $f_y = 3,900 \text{ Kg/cm}^2$

3. Tanah

Berat jenis tanah kering

$$\gamma_{sd} = 1,600 \text{ Kg/cm}^3$$

Berat jenis tanah submerged

$$\gamma_{sw} = 950 \text{ Kg/cm}^3$$

Tegangan tumpu ijin (Allwb bearing cap) $q_a < 0,70 \text{ Kg/cm}^2$

Frustrum Angle $f = 0$

Sudut geser dalam tanah $\phi = 0$

Koefisien tegangan pasif : $K_p = \tan^2(45 + \phi/2) = 1.000$

4. Tiang

Tiang bor (cas in situ) = 30 cm

Berat pile $\gamma_{pd} = 679 \text{ Kg/cm}^3$

Berat submerged pile

$$\gamma_{pw} = 396 \text{ Kg/cm}^3$$

Luas penampang $A_p = 2,827.43 \text{ cm}^2$

5. Faktor Keamanan

Faktor Keamanan terhadap tegangan tumpu (bearing) $SF_N = 1,5$

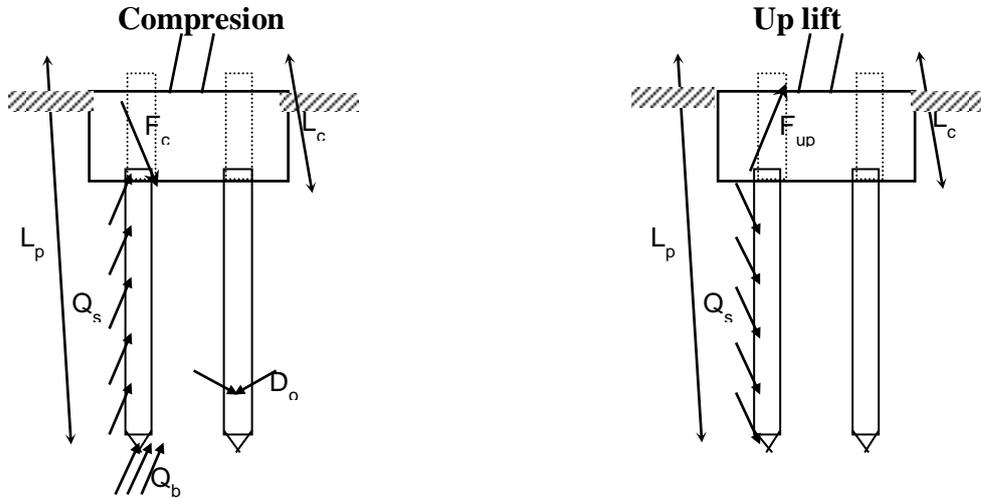
Faktor Keamanan terhadap kekuatan beton $SF_C = 1,2$

Faktor Keamanan terhadap guling $SF_O = 1,5$

Faktor Keamanan terhadap kapasitas tumpu tiang (bearing) $SF_b = 3,0$

Faktor Keamanan terhadap kapasitas friksi tiang (friction) $SF_f = 5,0$

4.2. Disain Pondasi



Compression : $F_c \leq P_u$

Uplift : $F_{up} \leq T_u$

dimana : F_c = ultimate compression load dari struktur tower

P_u = ultimate compression pile capacity

F_{up} = ultimate uplift load dari struktur tower

T_u = ultimate tensile pile capacity

$$T_u = \frac{\sum t_f p}{CF_s} \quad \sum t_f = \frac{CF_s}{p} \text{Max.}(P_{up})_{bat}$$

Compression : $P_u = \frac{q_{cp} A_p}{CF_b} + \frac{\sum t_f p}{CF_s}$

$\sum t$ = total skin friction dari DCPT (kN/m)

q_c = average q_c DCPT (kPa)

A = Luas end-bearing

p = Keliling pile

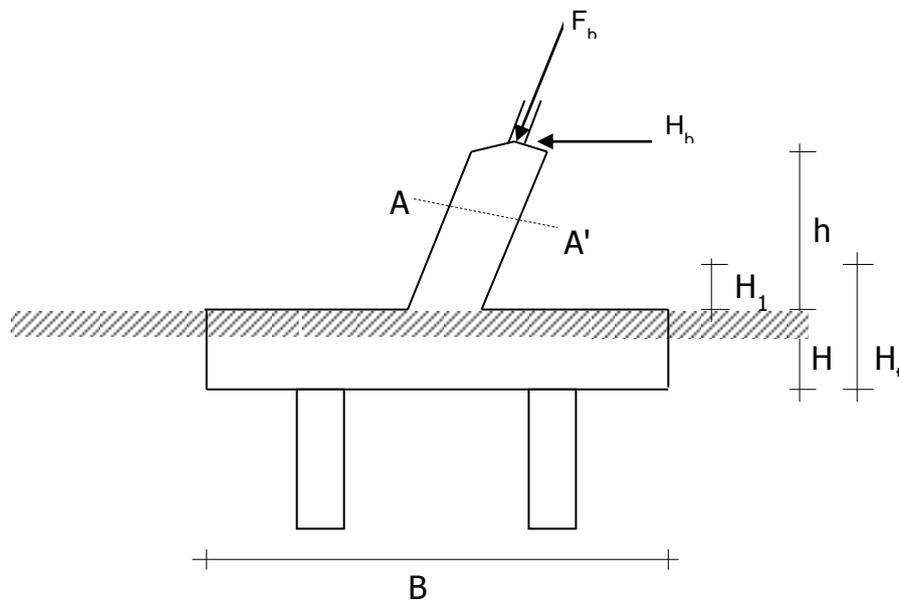
CF_b = correlation factor between q_c of DCPT with Q_b of pile

CF_s = correlation factor between St_f of DCPT with Q_s of pile

4.3. Gaya - Gaya yang Bekerja

Gaya untuk 1 tapak	Miring	Vertikal
Gaya Tekan Kritis (Compression)	$F_{zc} =$ 100.015 Ton	97.674 Ton

	$F_{zu} =$	64.479 Ton	62.970 Ton
	$F_x =$	5.209 Ton	7.550 Ton
	$F_y =$	6.135 Ton	7.644 Ton
Gaya Angkat Kritis (Uplift)	$F_{zc} =$	88.461 Ton	86.391 Ton
	$F_{zu} =$	75.681 Ton	73.910 Ton
	$F_x =$	3.433 Ton	5.503 Ton
	$F_y =$	1.973 Ton	3.744 Ton
Gaya Horisontal Kritis	$F_{zc} =$	86.954 Ton	84.919 Ton
	$F_{zu} =$	74.493 Ton	72.750 Ton
	$F_x =$	4.348 Ton	6.383 Ton
	$F_y =$	2.123 Ton	3.866 Ton



Gambar. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Pondasi

4.4. Perhitungan Beban

A. Berat Cap

Sudut bidang (<i>face rake</i>)	$\beta =$	8.8 °
Sudut ruang (<i>hip rake</i>)	$\alpha =$	9.1 °
Kedalaman pondasi dari muka tanah	$H_t =$	900 Mm
Tinggi chimney	$h =$	700 Mm
Lebar chimney	$b =$	600 Mm

Lebar pad	B =	5,000	Mm
Tebal pad	H =	1,300	Mm
Tinggi cap di atas muka tanah	H ₁ =	400	Mm
Selimut beton bawah	t _c =	50	Mm
Selimut beton samping/atas	t _{c1} =	50	Mm
Diameter tulangan	d =	16	Mm
Panjang minimum embedment stub di	=	380	Mm
Volume beton di bawah muka tanah	V _{cc} =	4.500	m ³
Volume beton diatas muka tanah	V _{cc'} =	0.246	m ³
Volume total beton	V _{cc'} =	4.746	m ³
Volume blok	V _{block} =	4.500	m ³
Volume tanah dalam blok	V _{cc} =	0.000	m ³

Berat cap + tanah di atas cap

dengan buoyancy $W_{cap'} = V_{cc'} \cdot \gamma_{cd} + V_{cc} \gamma_{cw} + V_s \cdot \gamma_{sw} = 6,891 \text{ Kg}$

tanpa buoyancy $W_{cap} = V_c \cdot \gamma_{cd} + V_s \cdot \gamma_{sd} = 11,391 \text{ Kg}$

Berat Tiang

jumlah tiang, n = 4

panjang rata-rata L_p = 10 m

berat submerged tiang $\gamma_{pw} = 396 \text{ Kg/m}^3$

berat total, $W_p = n \cdot L_p \cdot \gamma_{pw} = 19,008 \text{ Kg}$

4.5. Perhitungan Gaya

Dengan Faktor Keamanan Beban 1,5

Compression

$F_c = F_{zc \text{ vert}} + W_{cap} = 109,065 \text{ Kg}$

$F_{x 45^\circ} = 67 \text{ Kg}$

$F_{y 45^\circ} = 10.744 \text{ Kg}$

$M_{x 45^\circ} = 7.965 \text{ Kgm}$

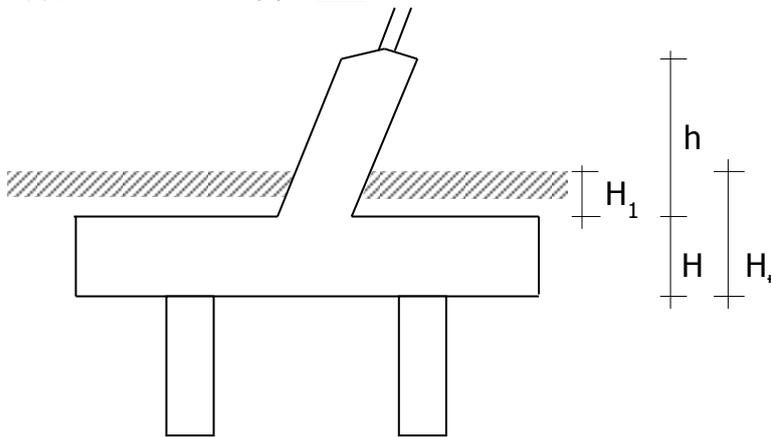
$M_{y 45^\circ} = 650 \text{ Kgm}$

Uplift

$F_u = F_{zu \text{ vert}} - 0.9 W_{cap}$	=	68.708	Kg
$F_{x 45^\circ}$	=	-1,244	Kg
$F_{y 45^\circ}$	=	6,539	Kg
$M_{x 45^\circ}$	=	3,796	Kgm
$M_{y 45^\circ}$	=	-1,025	Kgm

4.6. Desain Chimney

h	=	675	mm
b	=	600	Mm
A_{gr}	=	3.600	cm ²
\emptyset	=	19	mm
cov	=	50	mm



Resultan gaya horisontal	$F_r = (F_y^2 + F_x^2)^{0.5}$	= 8049 kg
Momen akibat gaya horisontal	M_1	= 5433 kg.m
Momen akibat gaya lateral tanah pada dasar chimney		
Momen, $M_r - M_{lat}$		
Aksial compression, $0.5 P_u$		= 5433 kg.m
Total momen, M_u		= 5433 kg.m
$P_u / (\emptyset A_{gr} \cdot 0.85 \cdot f_{cu}) =$	0,108	> 0.1
$e_t = M_u / P_u =$	0,136	$m = 136$
$e_t / b =$		= 0.277
$[P_u / (\emptyset A_{gr} \cdot 0.85 \cdot f_{cu})] \cdot (e_t / b)$		= 0,015

jarak serat atas ke tulangan

$$d' = 69,5 \text{ Mm}$$

≈

$$d'/b = 0,116 \text{ 0.2}$$

$$r = 0,002$$

$$\beta = 0,8$$

$$\rho = r \cdot \beta = 0,0016 = 0,01$$

$$A_{s \text{ tot}} = \rho \cdot A_{gr} = 3.600 \text{ mm}^2 \rightarrow$$

13 buah

Pakai 5 buah

Persisi

Total = 16 buah

$$A_{s \text{ tot}} = 4.536 \text{ mm}^2$$

Sengkang

$$f_y = 2.400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Resultan gaya geser } Fr = 6439 \text{ kg}$$

$$V_n = \emptyset_s V_c$$

$$\text{Kapasitas geser beton} = 13.994 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya geser utk sengkang } V_s = Fr - V_n = -7.555 \text{ kg}$$

$$\text{Jarak perlu } s = (A_v \cdot f_y \cdot d) / V_s = -272 \text{ mm}$$

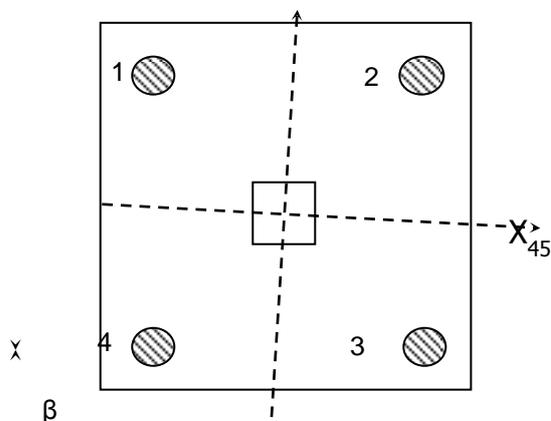
$$\text{Jarak minimum } s = (3 A_v f_y) / d = 285 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak dipakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Pakai sengkang} = \emptyset 10 - 200$$

4.7. Perhitungan Pondasi Tiang Konfigurasi 4

A. Pondasi Tiang



β : sudut proyeksi tiang pada bidang XY terhadap sumbu X

θ : kemiringan tiang miring terhadap horizontal

Koordinat lokal tiang

Jumlah tiang = 4 ; \varnothing 1,8 m

2,5 d tiang Ok

Jarak antara tiang di bdg bawah cap = 1,8 m >

Kedalaman cap dari muka tanah = 0,5 m

No Tiang	sudut β	Slope Θ	1/ θ	Koord. di cap		Koord. di muka tanah		Jrk tiang pd MT, jrk min. dr 2 tiang	
				X	Y	X ₀	Y ₀		
1	90	0	0,000	-0,900	0,900	-0,900	0,900	1,273	> d, OK
2	90	0	0,000	0,900	0,900	0,900	0,900	1,273	> d, OK
3	90	0	0,000	0,900	-0,900	0,900	-0,900	1,273	> d, OK
4	90	0	0,000	-0,900	-0,900	-0,900	-0,900	1,273	> d, OK

B. REAKSI TIANG

$$P_{comp.} = F_c/n + (M_x 45^\circ) y / y^2 + (M_y 45^\circ) x / x^2$$

$$P_{up.} = F_u/n + (M_x 45^\circ) y / y^2 + (M_y 45^\circ) x / x^2$$

No. Tiang	Koordinat Tiang (m)				Miring θ	P comp Kg	P comp Bat Kg	P uplift Kg	P up. Bat Kg	Lateral Kg
	X	Y	x ²	y ²						
1	-0,900	0,900	0,810	0,810	0,000	29.298	29.298	18.266	18.266	0
2	0,900	0,900	0,810	0,810	0,000	29.659	29.659	17.697	17.697	0
3	0,900	-0,900	0,810	0,810	0,000	25.234	25.234	15.588	15.588	0
4	-0,900	-0,900	0,810	0,810	0,000	24.873	24.873	16.157	16.157	0
		$\Sigma =$	3,240	3,240					$\Sigma =$	0

C. KAPASITAS DAN EFISIENSI TIANG

Kapasitas tiang dihitung berdasarkan rumus:

$$P_{com} = P_a + T_a$$

$$P_a = P_u / SF_b$$

P_{com} = Kapasitas tiang compression

$$P_{up} = T_a$$

$$T_a = T_u / SF_f$$

P_{up} = Kapasitas tiang uplift

$$P_u = A_p q_{cav}$$

P_{up} = Kapasitas tumpu ijin (*allow. bearing cap.*)

$$T_u = F l_p f_s$$

T_a = Kapasitas friksi (*allow. friction cap.*)

Efisiensi tiang dalam kelompok :

Efisiensi kelompok tiang adalah perbandingan dari kapasitas kelompok tiang terhadap jumlah kapasitas masing-masing tiang.

Panjang keliling kelompok tiang adalah : $p = 4(2S + d) = 4(2 \cdot 1,8 + 0,6) = 16,80$ m

$E_g = p / (n D n) = 16,80 / (3,14 \times 0,6 \times 4) = 2,23$

Proporsi kapasitas friksi maksimum = 0,93, sehingga efisiensi pile group diambil 1,00

5. SIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pemeriksaan tanah (uji sondir), bahwa pada daerah pembangunan tower transmisi 150 kV PLTU Labuhan Angin Sibolga dengan jenis tanah pasir, sangat rentan terhadap potensi likuifaksi. Didukung dengan daerah Sibolga yang rawan gempa.
2. Perencana pondasi bore pile, harus mampu memikul gaya vertikal, gaya horizontal dan momen yang terjadi akibat adanya deformasi ke arah lateral yang disebabkan oleh likuifaksi. Tahanan yang cukup untuk memikul beban ini dapat diperoleh dari dimensi tiang yang lebih besar dan lebih kaku, sehingga diambil diameter tiang 60 cm.
3. Hasil perhitungan diperoleh tipe pondasi *bore pile* (konfigurasi 4 pile) pada kedalaman 10 m *total skin friction* $\Sigma T_f = 721,80$

kg/cm (data sondir), diameter 60 cm.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. A. Djajaputra Aziz, Poulus, H.G., dan Rahardjo P. Paulus, "*Manual Pondasi Tiang*", Universitas Katholik Parahyangan, Bandung, 2000.
2. E.Bowles, Joseph., "*Analisis dan Desain Pondasi*", Erlangga, Jakarta.
3. Frick, Heinz., "*Mekanika Teknik I*", Kanisius Yogyakarta, 1979.
4. Hadihardaja, Joetata, "*Rekayasa Fundasi II fundasi Dangkal dan Dalam*", Universitas Gunadarma, Jakarta, 1997.
5. Hardiyatmo, Hary Christady., "*Teknik Pondasi I*", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1996.
6. Hardiyatmo, Hary Christady., "*Teknik Pondasi 2*", Edisi Kedua. UGM, Yogyakarta, 2002.
7. M. Das Braja, "*Mekanika Tanah*", Jilid 1. Erlangga, Jakarta, 1995.
8. Pusat pelatihan MBT bekerjasama dengan Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI)., "*Short Course Pile Pondation 2004*", Jakarta, 2004.
9. Sosrodarsono, Suryono, "*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
10. Sudarmoko, "*Perancangan dan Analisis Kolom Beton Bertulang (mengacu SK SNI-T-15-1991-03)*", Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1994.

11. Tomlinson, M.J., "*Pile Design and Pondation Contruction - fourt edition*", E&FN, London, 1994.
12. Robert D. Holtz, William D. Kovacs, "*Geotechnical Engineering*", Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series, New Jersey, 1981.
13. Steven L. Kramer, "*Geotechnical Earthquake Engineering*", Prantice Hall International Series In Civil Engineering and Engineering Mechanics, New Jersey, 1996.