

STUDI KASUS KEMIRINGAN GEDUNG 4 LANTAI AKIBAT KEGAGALAN FONDASI DI PANGKAL PINANG

Orlando¹, dan Gregorius Sandjaja Sentosa²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
orlandosucipto@gmail.com

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
gregoriuss@ft.untar.ac.id

Masuk: 12-07-2021, revisi: 06-08-2021, diterima untuk diterbitkan: 19-08-2021

ABSTRACT

A fourstorey building, located in Bangka Island, has been experiencing tilting for ± 5 years and based on manually measuring the building has tilted about $\pm 1-2^0$. This building was analysed to find the possibility cause of the tilting. The bearing capacity and settlement of the building were analysed by making several simulations. Based on an interview with the owner there were limited information known. The limited data identified are no soil test data available, the depth foundation of bored pile unknown, the detail structures of the building were assumed based on sight. Therefor to analyse the tilting of the building some assumptions have been made. After analysis it was found the possibility of the tilting caused by the exaggerated differential settlement of the building. The left hand side, eyed from the front of the building, has been settled up to more than 20 cm, while the right hand side of the building the possibility of settlement less then 10cm. There is a possibility that will be a reduction in the building load due to the presence of other buildings adjacent to the analyzed building. The bearing capacity seems does not have a dominant role causing the tilting.

Keywords: soil bearing capacity; Settlement; Pile Cap; Bore Pile, differential settlement.

ABSTRAK

Bangunan empat lantai di Pulau Bangka telah mengalami kemiringan selama ± 5 tahun dan berdasarkan pengukuran manual bangunan telah miring sekitar $\pm 1-2$ derajat setelah diukur secara manual. Bangunan ini dianalisis penyebab terjadinya kemiringan. Perhitungan daya dukung dan penurunan telah dilakukan untuk mencari penyebab terjadinya kemiringan bangunan. Berdasarkan wawancara dengan pemilik, informasi yang diperoleh terbatas. Kesulitan dalam menganalisis kasus ini adalah tidak tersedianya data penyelidikan tanah, ukuran dan kedalaman fondasi tiang bor tidak diketahui, serta data-data desain struktur bangunan diasumsikan berdasarkan pengelihatian. Dalam melakukan analisis kemiringan bangunan ini telah digunakan serangkaian asumsi untuk mencari penyebab terjadinya penurunan. Dari analisis ditemukan bahwa yang paling memungkinkan terjadi adalah perbedaan penurunan yang berlebihan. Jika dilihat dari depan bangunan, penurunan bagian kiri bangunan kemungkinan telah turun lebih dari 20 cm, sementara bagian kanannya turun kurang dari 10 cm. Ada kemungkinan terjadi reduksi beban bangunan karena adanya bangunan lain yang berdempetan dengan bangunan yang di analisis. Daya dukung fondasi nampaknya tidak menyebabkan penurunan bangunan ini.

Kata Kunci: Daya Dukung Tanah; Penurunan Tanah; *Pile Cap; Bore Pile*, perbedaan penurunan

PENDAHULUAN

Dalam pembangunan suatu bangunan, hal pertama yang dilaksanakan di lapangan adalah pekerjaan fondasi (*sub structure*), setelah itu dilanjutkan dengan pekerjaan struktur atas (*upper structure*). Fondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lainnya di atasnya. (Solikhati, 2011). Fondasi merupakan salah satu faktor terpenting dalam sebuah kekuatan bangunan, apabila fondasi tidak kuat menahan beban bangunan maka kemungkinan bangunan akan roboh. Oleh sebab itu, fondasi harus didesain dan dihitung secara teliti. Bangunan yang akan dianalisis pada penelitian ini merupakan bangunan 4 lantai yang terletak di wilayah Kota Pangkal Pinang, Kepulauan Bangka Belitung. Bangunan tersebut sudah berdiri selama ± 5 tahun. Kemiringan bangunan diukur secara manual menggunakan bandul tukang (*lot*), benang tukang (*benang karung*), dan busur derajat yang akhirnya menyimpulkan kemiringan bangunan sebesar $\pm 1-2^0$. Kemiringan bangunan dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bangunan tampak depan

Penelitian ini akan membahas mengenai analisis penyebab terjadinya kemiringan pada bangunan. Karena terbatasnya data yang diperoleh dari bangunan ini, maka serangkaian asumsi dilakukan untuk analisis. Data tanah diambil dari data penyelidikan tanah yang ditemukan di sekitar lokasi, kedalaman fondasi tiang bor dan diameternya diasumsikan, berat bangunan juga diasumsikan berdasarkan pengamatan,

Fondasi tiang bor

Fondasi tiang bor adalah salah satu dari beberapa jenis fondasi dalam (*deep foundation*) yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu. Penerapan fondasi tiang bor ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan besi yang telah dirangkai lalu dicor dengan beton. Fondasi tiang bor ini digunakan untuk menjaga kestabilan dan kekuatan lereng dinding penahan tanah termasuk pada fondasi bangunan ringan yang dibangun di atas tanah lunak dan struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar. Fondasi bored pile digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak cukup dalam.

Daya dukung tiang bor

Daya dukung tiang bor dihitung menggunakan rumus Reese & Wright, Meyerhof dan metode lamda (λ) (Das, 2011). Data tanah yang digunakan berasal dari data sekunder tanpa data lab. Data tanah yang di ambil berjarak $\pm 100\text{m}$ dari lokasi bangunan yang akan dianalisis. Data tanah yang digunakan merupakan hasil interpretasi data tanah yang dapat di lihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil interpretasi data tanah

Data Lapangan			Data Korelasi				
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Gs	e	w (%)	Cu (kN/m ²)	γ_{sat} (kN/m ³)
0,0-5,50	Lempung	6	2,715	1,15	40	36	17,63
5,5-7,7	Lanau	7	2,65	1,15	15	50	21,36
7,7-11,0	Lempung	9	2,715	1,15	40	60	17,63
11,0-15,0	Lempung	26	2,715	1,15	40	180	17,63
15,0-28,0	Lempung	60	2,715	1,15	40	375	17,63
28,0-30,0	Lempung	60	2,715	1,15	40	375	17,63

(Yusti & Fahrani, 2014)

Dimana G_s = berat jenis tanah, e = angka pori, w = kadar air dalam keadaan jenuh, C_u = Kekuatan geser dan γ_{sat} = berat air dalam keadaan jenuh

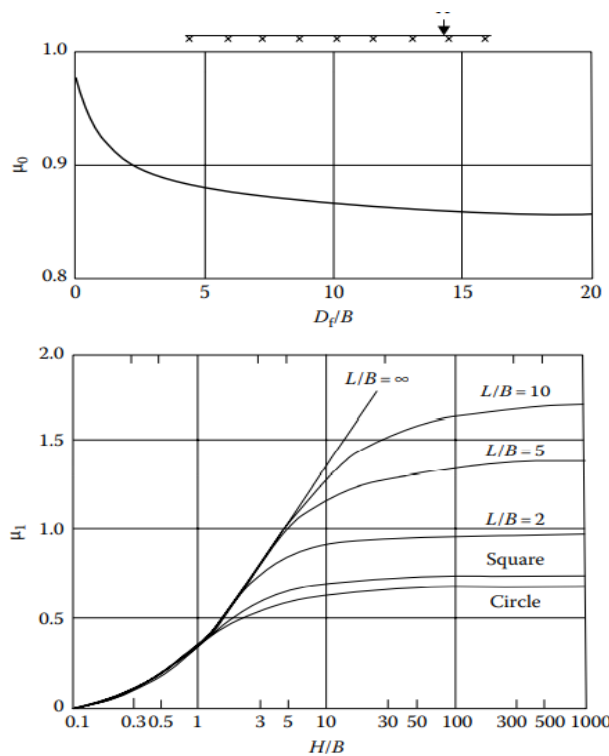
Penurunan

Jika suatu lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami penurunan (*settlement*), atau boleh dikatakan tanah yang mengalami tegangan akan mengalami rengangan dalam tanah tersebut. Penurunan tanah merupakan peristiwa termampatnya suatu lapisan tanah, dapat dikarenakan beban luar atau pemompaan air. (Pranoto & Setiabudi, 2017)

Penurunan segera adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan. Menurut Janbu, Bjerrum dan Kjaemsli (Das, 2011) dirumuskan sebagai berikut:

$$S_i = \mu_i \mu_o \frac{qB}{E} \quad (1)$$

Dengan S_i = Penurunan segera, q = Tekanan netto fondasi (P/A), B = Lebar tiang pancang kelompok, E = Modulus elastis, μ_i = Faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal terbatas H , μ_o = Faktor koreksi untuk kedalaman fondasi D_f



Gambar 2. Gambar grafik faktor koreksi (Das, 2011)

Penurunan konsolidasi adalah penurunan saat tanah lempung yang tersaturasi mengalami pembebanan secara konstan, akan terjadi perubahan volume akibat keluarnya air yang menempati area kosong pada lapisan tanah tersebut. Proses ini disebut konsolidasi primer. Saat sampel ditahan secara lateral, besar tekanan pori sama dengan beban yang diterima lapisan tanah yang bervariasi tergantung pada waktu dan jarak vertikal. Besar penurunan konsolidasi primer pada tanah lempung yang *normally consolidated* dapat dirumuskan seperti berikut:

$$S_p = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad (2)$$

Dengan C_c = indeks pemampatan tanah, e_o = angka pori, H = tebal lapisan tanah, σ'_o = tekanan *overburden* efektif dan $\Delta\sigma'$ = perubahan tekanan

Bila $\sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad (3)$$

Bila $\sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'$

$$S_p = \frac{c_s H}{1+e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{c_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad (4)$$

STUDI KASUS KEMIRINGAN

Data fondasi tiang bor dan jumlah tiang bor diperoleh dari wawancara kepada pemilik bangunan dan didapat bahwa kedalaman fondasi yang digunakan sedalam 6-12m dan terdapat 4 fondasi tiang bor pada 1 kolom dengan mutu beton (f_c') = 20 MPa, diameter penampang = 0,45 m, luas penampang = 0,159043 m², keliling penampang = 1,413717 m, berat jenis tiang beton = 24 kN/m³, dan spasi tiang = 1,35 m

Daya dukung tiang bor

Nilai daya dukung fondasi tiang diperoleh dengan menghitung daya dukung ujung dan daya dukung selimut. Daya dukung ujung didapatkan melalui rumus Reese & Wright dan Meyerhoff sedangkan untuk daya dukung selimut tiang dihitung berdasarkan rumus Reese & Wright dan metode lamda λ . Setelah daya dukung ujung dan daya dukung selimut diperoleh maka, daya dukung akan dijumlah dan di kurangi oleh berat tiang bor dan akan dibagi *safety factor* untuk memperoleh daya dukung izin

Tabel 2. Daya dukung ujung tiang bor berdasarkan asumsi perhitungan dengan kedalaman tiang yang bervariasi

Depth (m)	Qp - Meyerhoff Clay/Silt	Qp - Reese & Wright Nspt Clay/Silt	Qp - Reese & Wright Clay/Silt	Qp yang digunakan (kN)
1	2	3	4	5
0		0	0	0
2	39,2605	-	-	-
4	78,5209	60,9202	51,5300	51,5300
6	121,9411	76,1503	58,2098	58,2098
8	193,7382	76,1503	69,6609	69,6609
10	208,7814	106,6104	138,3675	138,3675
12	283,4765	258,9109	200,3943	200,3943
14	328,3456	258,9109	350,6901	350,6901
16	578,4828	609,2021	443,7303	443,7303

Berdasarkan tabel 3. daya dukung ujung yang diambil adalah daya dukung terkecil dari ketiga rumus tersebut.

Tabel 3. Daya dukung selimut tiang bor

Depth (m)	ΔQ_s - Metode Lamda λ	Qs - Reese & Wright Nspt (kN)	Qs - Reese & Wright (kN)	ΔQ_s - Metode Lamda λ	ΔQ_s - Reese & Wright Nspt (kN)	ΔQ_s - Reese & Wright (kN)	Qs (kN)
1	2	3	4	5	6	7	8
0	-	-	-	-	-	-	-
2	27,83571	27,0756	24,4290	50,6860	54,1513	42,2419	54,1513
4	36,41976	27,0756	34,6078	119,9269	108,3026	111,4574	108,3026
6	41,37147	33,8446	37,6614	199,9299	169,2228	186,7802	169,2228
8	61,47949	33,8446	62,7690	313,9658	236,9119	307,5117	236,9119
10	66,4312	54,1513	69,5549	444,6165	345,2145	439,8355	345,2145
12	138,7131	87,9959	129,7792	719,8309	487,3617	699,3939	487,3617
14	143,1366	87,9959	173,0389	1003,8923	663,3534	1009,8461	663,3534
16	257,83	223,3741	217,3589	1407,0706	974,7233	1400,2440	974,7233

Berdasarkan tabel 4 daya dukung selimut yang diambil adalah daya dukung terkecil dari ketiga rumus tersebut. Perhitungan daya dukung ijin dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Daya dukung total

Depth (m)	Qp (kN)	ΔQ_s (kN)	Qu (kN)	Qall (kN)
1	2	3	4	5
0	0	0	0	0
2	-	54,1513	-	-
4	51,5300	108,3026	159,8326	38,0094
6	58,2098	169,2228	227,4326	52,9087
8	69,6609	236,9119	306,5728	71,6547
10	138,3675	345,2145	483,5820	123,0237
12	200,3943	487,3617	687,7560	183,4476
14	350,6901	663,3534	1014,0435	284,5760
16	443,7303	974,7233	1418,4537	411,7453

Berdasarkan tabel 5 diperoleh daya dukung ijin dari daya dukung ujung dan daya dukung selimut tiang bor.

Beban bangunan

Asumsi berat bangunan dengan ukuran tebal plat lantai 130 mm, balok induk 1050 mm x 550 mm, balok anak 600 mm x 300 mm, kolom 400 mm x 600 mm dengan berat jenis beton 24 kN/m². Karena kolom hanya berada di sisi bangunan maka diasumsikan berat bangunan dibagi dengan jumlah tiang kolom. Untuk perhitungan beban bangunan yang akan dihitung hanya deadload karena bangunan belum selesai 100% dan diperoleh beban perkolom sebesar 1001,6903 Kn

Efisiensi dan daya dukung tiang kelompok

Setelah daya dukung total dihitung, Langkah selanjutnya adalah untuk menentukan jumlah tiang yang diperlukan dan efisiensi nya, untuk efisiensi mengacu pada rumus efisiensi tiang kelompok .

Tabel 5. Efisiensi kelompok tiang

Rumus	Hasil
Feld	0,8125
Converse - Labarre	0,795
Sederhana	1,273
Seiler Keeney	0,8013
Los Angeles Group	0,85638

Dari 5 rumus yang telah dihitung pada tabel 6, maka dipilih hasil paling minimum untuk dijadikan koefisien efisiensi kelompok yaitu rumus no. 2 (Converse -Labarre)

Dari data yang diperoleh untuk kedalaman tiang bor yang di gunakan bervariasi mulai dari 6 m sampai dengan 12 m. Oleh sebab itu, perhitungan dimulai dengan daya dukung aksial pada kedalaman tiang 6 m, 8 m, 10 m, 12 m, dan 16 m. Perhitungan daya dukung fondasi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 6. Daya dukung fondasi

Kedalaman	Beban per kolom (kN)		Daya Dukung Aksial Tunggal (kN)	Check	Efisiensi (kN)	Check
1	2	3	4	5	6	7
6 m	250,4226	>	52,9087	TIDAK OK	-	-
10 m	250,4226	>	123,0237	TIDAK OK	-	-
12 m	250,4226	>	183,4476	TIDAK OK	-	-
14 m	250,4226	<	284,5760	OK	904,9517	TIDAK OK
16 m	250,4226	<	411,7453	OK	1309,3502	OK

Penurunan bangunan

Penurunan bangunan ini memiliki perbedaan pada kanan dan kiri bangunan. Setelah melakukan pemeriksaan visual dari depan bangunan dapat dilihat bahwa penurunan sebelah kanan lebih kecil dibandingkan penurunan pada sebelah kiri bangunan. Oleh sebab itu diasumsikan bahwa beban bangunan yang ada di sebelah kanan ditahan oleh fondasi pada bangunan tetangga yang ada di sebelah kanan sehingga beban yang turun ke fondasi bangunan 4 lantai ini tidak 100%. Berdasarkan asumsi perhitungan penurunan bangunan dengan fondasi yang memiliki kedalaman bervariasi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Penurunan bangunan

Kedalaman (m)	Penurunan (cm)
1	2
4	37,05
6	22,56
8	16,23
10	8,12
12	6,10
14	5,03
16	2,90

Berdasarkan pengamatan yang terjadi pada bangunan tersebut penurunan bangunan sebesar 18,53 cm. Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 8, kemungkinan yang menyebabkan terjadinya perbedaan penurunan adalah jika fondasi tiang bor ditanam sampai dengan kedalaman 8,6, dan 4 m karena penurunannya mendekati 18,53 cm. Sehingga analisis penurunan akan dilakukan untuk fondasi tiang bor pada kedalaman 8,6, dan 4 m.

Untuk menghitung penurunan fondasi bagian kanan bangunan diasumsikan beban yang di reduksi akibat adanya bangunan tetangga sebesar 20-90% seperti yang tercantum pada tabel 8. Dari hasil perhitungan untuk setiap reduksi beban tersebut diperoleh besarnya penurunan 4,6, dan 8 m dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Reduksi beban bangunan

Reduksi beban	Reduksi Beban Penurunan		
	4 m (cm)	6 m (cm)	8 m (cm)
1	2	3	4
0%	37	23	16
20%	29	20	14
40%	25	17	12
60%	20	14	10
80%	16	10	7
90%	13	8	6

Dapat dilihat bahwa besarnya perbedaan penurunan pada tiang bor dengan kedalaman 4,6, dan 8 m dapat dilihat pada tabel 9, tabel 10, dan tabel 11.

Tabel 9. Perbedaan penurunan kiri dan kanan bangunan tiang bor sedalam 4 m

Penurunan Tiang Tanpa Reduksi (cm)	Penurunan Tiang Dengan Reduksi Beban (cm)	Perbedaan Penurunan (cm)
1	2	3
37	37	0
37	29	8
37	25	12
37	20	17
37	16	22
37	13	24

Tabel 10. Perbedaan penurunan kiri dan kanan bangunan tiang bor 6 m

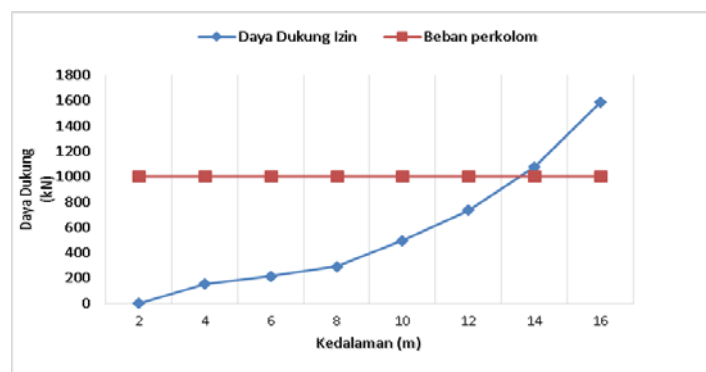
Penurunan Tiang Tanpa Reduksi (cm)	Penurunan Tiang Dengan Reduksi Beban (cm)	Perbedaan Penurunan (cm)
1	2	3
23	23	0
23	20	3
23	17	6
23	14	9
23	10	12
23	8	14

Tabel 11. Perbedaan penurunan kiri dan kanan bangunan tiang bor 8 m

Penurunan Tiang Tanpa Reduksi (cm)	Penurunan Tiang Dengan Reduksi Beban (cm)	Perbedaan Penurunan (cm)
1	2	3
16	16	0
16	14	2
16	12	4
16	10	6
16	7	9
16	6	10

Analisis

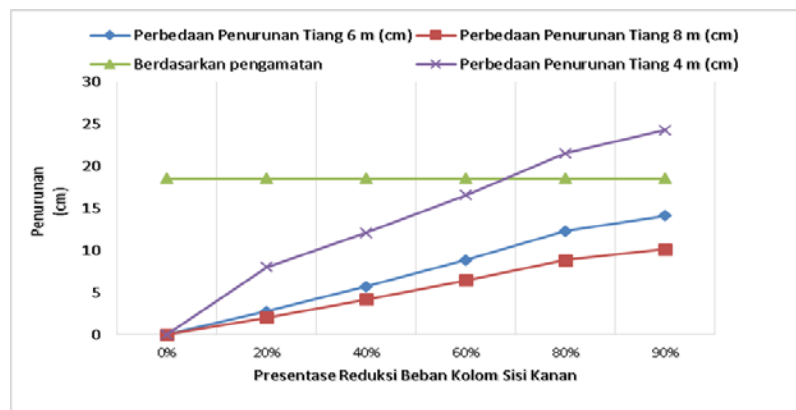
Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh bahwa kemiringan bangunan sebesar 18,53 cm. Berdasarkan perhitungan yang sudah diperoleh, maka hasil perhitungan akan diberikan dalam bentuk grafik agar mempermudah menyimpulkan apa yang mengakibatkan terjadinya penurunan bada bangunan tersebut.



Gambar 3. Daya dukung izin vs beban perkolom

Berdasarkan grafik pada gambar 3 dapat dilihat bahwa pada tiang bor kedalaman 14-16 m tiang bor kuat menahan beban bangunan. Berdasarkan gambar 3 terlihat bahwa fondasi dimasukan kedalam 4-12 m maka daya dukung belum cukup untuk mendukung beban bangunan tersebut yang dapat mengakibatkan kegagalan tanah atau penurunan yang berlebihan. Berdasarkan pengamatan kegagalan tanah tidak terlihat, tetapi bangunan miring. Maka kemungkinan yang terjadi adalah perbedaan penurunan antara fondasi bagian kiri dan fondasi bagian kanan.

Berdasarkan analisis besar penurunan untuk fondasi kedalaman 4,6,8 m dan dengan asumsi terjadi reduksi beban pada fondasi bagian kanan bangunan akan terjadi perbedaan penurunan yang bias dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perbedaan penurunan 4m, 6m, 8m, dan hasil pengamatan

Berdasarkan grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa perbedaan penurunan yang mendekati dengan hasil pengamatan adalah fondasi tiang bor dengan kedalaman 4m dan reduksi beban sebesar 60-80%

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Penggunaan daya dukung tanah terhadap fondasi dengan kedalaman 6m-12m tidak mampu menahan beban dari bangunan.
- Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa fondasi tiang bor yang digunakan kemungkinan hanya menggunakan fondasi tiang bor pada kedalaman 4 m atau 6 m sehingga mengakibatkan penurunan yang cukup besar.
- Berdasarkan hasil pengamatan diketahui bahwa perbedaan kemiringan yang terjadi antara kiri dan kanan bangunan sebesar 18,53 cm.
- Kemiringan bangunan dapat terjadi karena perbedaan tanah sebelah kanan dan kiri bangunan dimana tanah yang disebelah kiri bangunan lebih lembut dari sebelah kanan bangunan sehingga pada tahap pembangunan terjadi pergerakan pada tanah yang mengakibatkan kemiringan pada bangunan.
- Dari hasil pengamatan ini diperoleh bahwa analisis penurunan yang mendekati hasil pengamatan adalah tiang bor diameter 0,45 m dengan kedalaman 4 m dengan reduksi beban kolom sebelah kanan sebesar 60-80% sebesar 17-22 cm. Berdasarkan hasil perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa kemungkinan besar fondasi yang digunakan tidak sesuai dengan yang diberitakan di gambarnya sehingga fondasi yang digunakan hanya memiliki kedalaman 4 m

Saran

Dalam pembangunan bangunan sebaiknya dilakukan soil test dan perhitungan daya dukung tanah serta penurunan bangunan agar tidak terjadi kesalahan yang sama seperti bangunan yang dianalisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*. Cengage Learning.
- Pranoto, Y., & Setiabudi, R. (2017). Evaluasi Penurunan Gedung dan Metode Perbaikannya. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Solikhati, Y. (2011). Pondasi. *Konstruksi Bangunan*.
- Yusti, A., & Fahriani, F. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test dan Capwap (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang). *Jurnal Fropil*.