EVALUASI KEGAGALAN PONDASI PADA GEDUNG BERTINGKAT
(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Ruko 3 Lantai – Banua Anyar Banjarmasin)

Akhmad Marzuki[(1)], **Alpiannor**[(2)],

[(1)]Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banjarmasin

[(2)]Praktisi Teknik Sipil

Ringkasan

Berdasarkan hasil observasi lapangan terhadap keadaan bangunan di lokasi studi pada proyek pembangunan ruko 3 (tiga) lantai, telah terjadi kegagalan konstruksi sehingga menyebabkan bangunan mengalami keruntuhan. Sebagai tindak lanjut kondisi tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengevaluasi kegagalan yang terjadi dan memberikan alternatif solusinya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi dengan cara pengumpulan data melalui pengamatan langsung dan pengukuran elemen-elemen struktur yang telah mengalami kegagalan. Data tersebut disimulasi ulang dengan pemodelan struktur sebelum dan sesudah kegagalan untuk mengetahui penyebab kegagalannya.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa runtuhmya struktur bangunan diawali dengan adanya retak-retak struktural pada joint-joint struktur dan terjadinya perubahan elevasi serta geometris bangunan. Hal tersebut terjadi akibat kegagalan pondasi yang ditunjukkan dengan adanya penurunan tidak seragam (differential settlement) karena daya dukung pondasi yang rendah, pola konfigurasi lajur dan jumlah tiang yang mempengaruhi distribusi gaya pada tiang serta adanya eksentrisitas tiang. Eksentrisitas pada pondasi mengakibatkan terjadinya tambahan momen yang bekerja pada pondasi, hal ini sangat berpengaruh terhadap pendistribusian beban yang bekerja pada tiang sehingga tambahan momen yang bekerja mengakibatkan beban yang diterima oleh tiang melebihi daya dukung batas tiang tunggal. dari perhitungan distribusi beban pada joint 178 faktor keamanan yang diperoleh sebesar 0,985 kurang dari faktor keamanan yang disyaratkan yaitu 3,00 (Hardiyatmo, 2010).

Kata Kunci: *Kegagalan, Penurunan, Eksentrisitas.*

1. PENDAHULUAN

Kegagalan bangunan sering dikaitkan dengan tidak berfungsinya bangunan baik sebagian maupun secara keseluruhan (PP.No.29/2000 pasal 34 tentang Penyelenggaraan Jasa Konstruksi). Sedangkan kegagalan konstruksi sering kali dikaitkan dengan tidak terpenuhinya kualitas dan spesifikasi teknik yang seharusnya pada tahap proses konstruksi berlangsung (PP.No.29/2000 pasal 31 tentang Penyelenggaraan Jasa Konstruksi).

Kegagalan konstruksi pada kasus ini terjadi pada bangunan ruko lantai 3 (tiga) di daerah Banua Anyar Banjarmasin. Kegagalan tersebut seiring dengan kurangnya keinginan kita pelaku konstruksi khususnya perencana, pelaksana dan pengawas dalam memenuhi syarat-syarat teknis pelaksanaan sebuah bangunan. Hal lain yang memicu kegagalan tesebut juga disumbang oleh kurangnya perhatian pemerintah dalam proses perijinan yang seharusnya dikawal dengan kajian teknis yang memenuhi syarat keamanan, kegunaan, ke-ekonomian serta keindahan sebuah bangunan.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode observasi dengan cara pengumpulan data melalui pengamatan langsung atau pengukuran elemen struktur pada lokasi studi kasus. Dalam rangka memenuhi tujuan tersebut dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

a. Peninjauan langsung ke lokasi studi kasus.
b. Pengumpulan data sekunder serta studi pustaka yang berkaitan dengan analisa di lapangan.
c. Pengukuran dimensi dan geometric elemen structural pada titik-titik kegagalan
d. Pengolahan data dengan cara men-simulasi permodelan struktur sebelum dan sesudah kegagalan.
e. Analisis hasil pengolahan data
f. Kesimpulan dari hasil penelitian.

3. KONDISI EKSISTING

Gambar 1. Kondisi saat pelaksanaan bangunan

Berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap kondisi bangunan eksisting di lapangan, kemungkinan penyebab terjadinya kegagalan bangunan adalah sebagai berikut:

a) Pada struktur bangunan bawah tidak terdapat sloof, sehingga apabila terjadi penurunan seketika *(Immediate Settlement)* yang tidak seragam mengakibatkan defleksi pada pondasi lebih besar sehingga mengakibatkan plat pondasi mudah patah.
b) Terjadi eksentrisitas neut terhadap titik pusat pondasi sehingga terjadi tambahan momen pada system pondasi.
c) Kedalaman tiang galam pada pondasi hanya sedalam 7 m (tujuh meter), setelah dilakukan perhitungan terhadap daya dukung pondasi dengan kedalaman 7 m masih belum mencapai syarat *safety factor* sehingga bangunan sangat berpotensi mengalami kegagalan *(failure)*.
d) Tidak adanya penyelidikan tanah di lokasi pembangunan sehingga tidak ada dasar perhitungan terhadap desain pondasi yang digunakan.

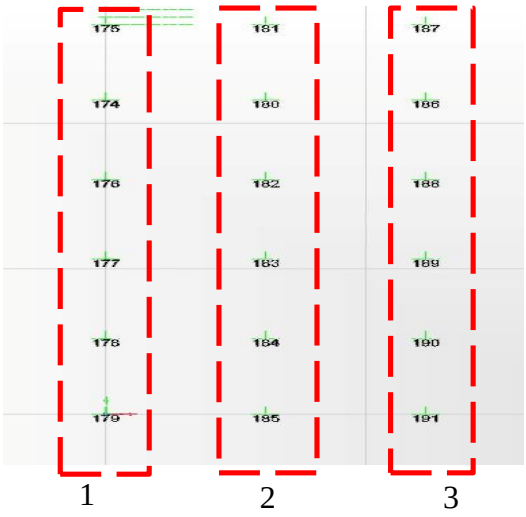
Gambar 2. Kondisi kerusakan bangunan atas

4. HASIL DAN ANALISA

Pemodelan Struktur Bangunan

Perhitungan gaya yang bekerja pada struktur bangunan ruko tiga lantai terdiri dari 2 fase yaitu, fase awal dan fase akhir. Fase awal merupakan gaya yang bekerja sebelum bangunan mengalami keruntuhan dan fase akhir merupakan gaya yang bekerja setelah terjadi keruntuhan yang diakibatkan penurunan tidak seragam *(differential settlement)* sehingga terjadinya kegagalan pada struktur bangunan.

Muka Bangunan



Gambar 3.*Joint Assignments*

Model Sebelum Keruntuhan (Fase Awal)

Pada model sebelum keruntuhan, menunjukkan besaran gaya yang bekerja pada *joint assignments* saat bangunan dalam keadaan normal. Gaya yang bekerja pada bangunan dengan kondisi normal dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Gaya yang bekerja pada pada fase awal.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
174	COMB1	Combination	2,334	0,262	33,521	-0,152	0,617	0,001
175	COMB1	Combination	1,244	-1,232	18,079	0,225	0,326	-0,003
176	COMB1	Combination	2,365	0,178	34,175	-0,117	0,628	0,000
177	COMB1	Combination	2,321	0,183	33,795	-0,111	0,608	-0,002
178	COMB1	Combination	1,903	0,124	35,552	-0,084	0,468	-0,001
179	COMB1	Combination	1,755	1,292	26,547	-0,381	0,430	-0,001
180	COMB1	Combination	-0,009	0,458	50,785	-0,212	0,015	0,000
181	COMB1	Combination	-0,035	-2,228	53,921	0,469	-0,006	0,001
182	COMB1	Combination	0,017	0,176	52,273	-0,113	0,023	0,000
183	COMB1	Combination	0,017	0,174	52,062	-0,086	0,015	-0,001
184	COMB1	Combination	0,020	-0,715	71,921	0,247	0,005	-0,001
185	COMB1	Combination	0,002	0,619	43,069	-0,248	-0,010	-0,001
186	COMB1	Combination	-2,364	0,526	32,320	-0,242	-0,591	-0,001
187	COMB1	Combination	-1,228	-1,597	35,913	0,264	-0,326	0,012
188	COMB1	Combination	-2,357	0,205	32,899	-0,123	-0,591	-0,001
189	COMB1	Combination	-2,308	0,186	32,688	-0,099	-0,583	-0,001
190	COMB1	Combination	-1,912	0,105	35,098	-0,060	-0,472	-0,002
191	COMB1	Combination	-1,763	1,283	26,685	-0,358	-0,453	-0,002
Max Load			*2,365*	*1,292*	*71,921*	*0,469*	*0,628*	*0,012*
Min Load			*-2,364*	*-2,228*	*18,079*	*-0,381*	*-0,591*	*-0,003*
Load Average			*0,0000*	*0,000*	*38,9613*	*-0,0656*	*0,0057*	*-0,0003*

Tabel 2. Resultan gaya pada masing-masing jalur pondasi.

Resultant gaya pada jalur 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Jumlah	
Joint	175	174	176	177	178	179		
Beban	18,08	33,52	34,18	33,80	35,55	26,55	*181,67*	*ton*
Jarak	0,00	3,80	4,00	4,00	4,00	3,80	*19,60*	*m*
Resultant	0,00	127,38	266,57	398,78	561,71	520,33	*10,32*	*m*

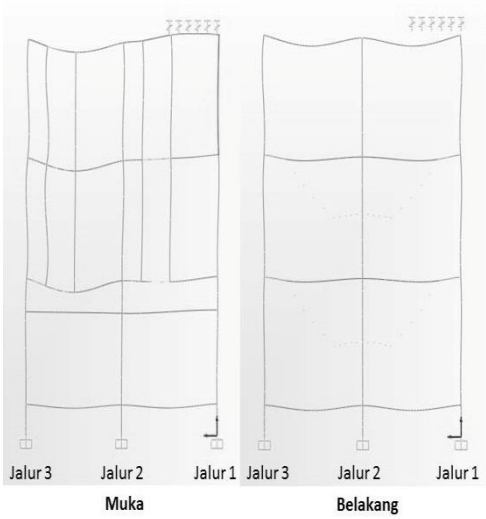
Resultant gaya pada jalur 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Jumlah	
Joint	181	180	182	183	184	185		
Beban	53,92	50,79	52,27	52,06	71,92	43,07	*324,03*	*ton*
Jarak	0,00	3,80	4,00	4,00	4,00	3,80	*19,60*	*m*
Resultant	0,00	192,98	407,73	614,33	1136,36	844,15	*9,86*	*m*

Resultant gaya pada jalur 3

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Jumlah	
Joint	187	186	188	189	190	191		
Beban	35,91	32,32	32,90	32,69	35,10	26,68	*195,60*	*ton*
Jarak	0,00	3,80	4,00	4,00	4,00	3,80	*19,60*	*m*
Resultant	0,00	122,81	256,61	385,72	554,54	523,02	*9,42*	*m*

Dari ketiga jalur, resultan gaya terbesar berada pada jalur kedua dengan beban 324,03 ton. Pada tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa, pada fase awal dimana bangunan dalam kondisi normal (sebelum terjadi keruntuhan) joint yang menerima beban terberat berada pada jalur kedua. Hasil dari gaya yang bekerja pada bangunan mempengaruhi geometrik bangunan dan pola keruntuhan pada bangunan seperti yang terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Geometrik dan pola keruntuhan akibat gaya yang bekerja pada fase awal

Model Setelah Keruntuhan (Fase Akhir)

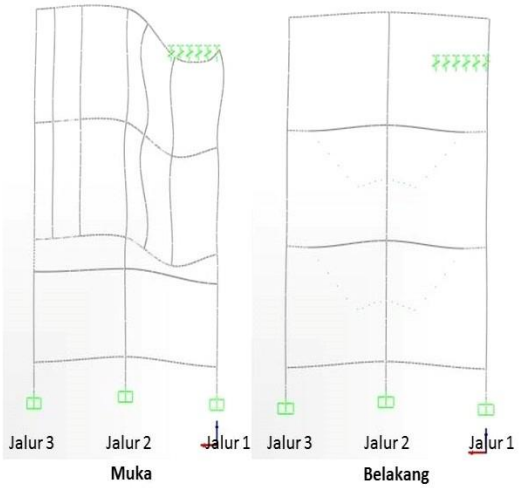
Dari gaya yang dihasilkan, pada fase akhir dapat diketahui perbandingan besaran gaya yang terjadi pada saat bangunan dalam kondisi belum runtuh terhadap kondisi setelah mengalami keruntuhan. Gaya yang bekerja pada bangunan dengan kondisi setelah mengalami keruntuhan dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3. Gaya yang bekerja pada *joint assignments* pada fase akhir.

TABLE: Joint Reactions After Settlement

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
174	COMB1	Combination	-18,547	-116,247	-227,168	59,772	-1,432	-0,152
175	COMB1	Combination	-67,982	-209,454	11532,847	76,530	-9,165	-2,166
176	COMB1	Combination	8,849	0,949	61,818	34,163	5,059	0,173
177	COMB1	Combination	8,417	-52,374	151,918	53,048	4,764	0,148
178	COMB1	Combination	-31,705	125,535	-599,959	10,975	-4,024	0,745
179	COMB1	Combination	-47,293	214,511	623,728	-7,177	-2,038	1,805
180	COMB1	Combination	6,625	-232,301	-792,958	93,417	4,677	-0,119
181	COMB1	Combination	-0,298	-327,750	4185,016	114,572	4,512	-0,151
182	COMB1	Combination	4,015	4,170	162,570	33,121	3,618	-0,028
183	COMB1	Combination	3,638	-46,722	161,371	48,417	3,880	0,022
184	COMB1	Combination	-2,474	244,610	-2247,965	-34,727	3,004	0,064
185	COMB1	Combination	-3,482	442,981	1714,924	-72,595	3,125	0,051
186	COMB1	Combination	19,863	-179,045	-548,764	80,549	7,893	0,088
187	COMB1	Combination	51,955	-177,693	312,064	77,853	15,564	0,634
188	COMB1	Combination	-5,988	-1,466	108,474	36,170	0,902	-0,162
189	COMB1	Combination	-3,337	-46,769	110,625	51,606	2,478	-0,059
190	COMB1	Combination	32,907	137,625	-620,225	7,331	11,619	-0,667
191	COMB1	Combination	44,838	219,440	604,843	-8,941	9,494	-1,728
Max Load			*51,955*	*442,981*	*11532,847*	*114,572*	*15,564*	*1,805*
Min Load			*-67,982*	*-327,750*	*-2247,965*	*-72,595*	*-9,165*	*-2,166*
Load average			*0,000*	*0,000*	*816,287*	*36,338*	*3,552*	*-0,083*

Hasil perhitungan diatas memperlihatkan bahwa joint dengan beban terberat berada pada joint 175 jalur pertama, berbeda pada kondisi normal (fase awal) dimana joint dengan beban terberat berada pada joint 184 jalur kedua. Berdasarkan dari hasil perhitungan gaya pada tabel 1 dan 3, perubahan gaya yang terjadi diakibatkan oleh adanya kegagalan struktur bawah pada bangunan. Selain perubahan gaya yang terjadi kegagalan struktur bawah ini juga berpengaruh terhadap geometrik bangunan dan pola keruntuhan pada bangunan, seperti yang terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Geometrik dan pola keruntuhan akibat gaya yang bekerja pada fase akhir

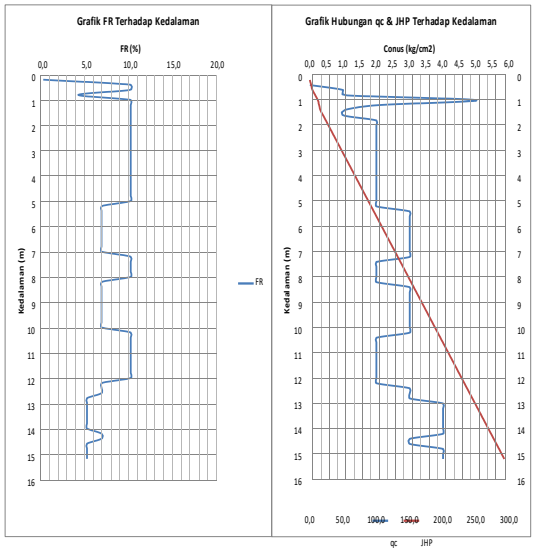
Pemeriksaan Tanah

Data pemeriksaan tanah menggunakan metode *Cone Penetration Test (CPT)/* sondir. Data ini adalah data typical lokasi sekitar. Hasil pemeriksaan tanah dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4.*Resume Cone Penetration Test (CPT)*

Depth (m)	Pembacaan		Konus (Kg/Cm2)	Cleef (Kg/Cm2)	HP (Kg/Cm)	JHP (Kg/Cm)	FR (%)	S/C	Klasifikasi
	Manometer 1	Manometer 2							
0,00-12,4	2,3	4,2	2,3	0,2	3,8	116,4	8,5	C	Organic
12,6-13,8	4,0	6,0	4,0	0,2	4,0	256,0	5,0	C	Soft
14,0-14,2	3,0	5,0	3,0	0,2	4,0	274,0	6,7	C	Organic
14,4-15,0	4,0	6,0	4,0	0,2	4,0	286,0	5,0	C	Soft

(*Sumber: Hasil Pemeriksaan Lab. Geoteknikal dan Transfortasi Politeknik Negeri Banjarmasin)*



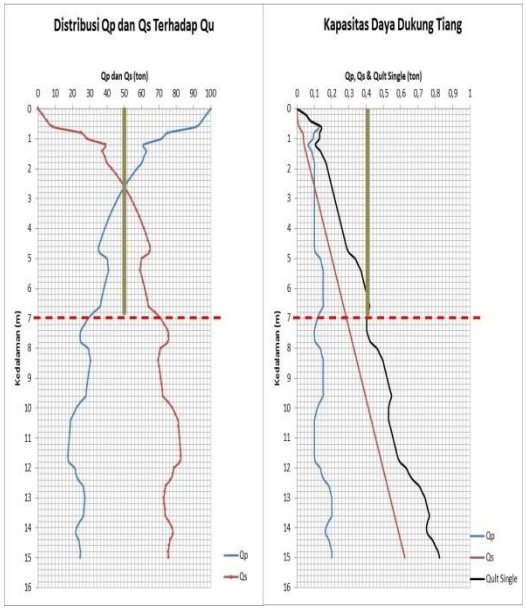
Gambar 6. Grafik hubungan qc, JHP & FR tehadap kedalaman

Dari tabel 4 menunjukkan bahwa dari kedalaman 0,00 m sampai dengan kedalaman 15,00 m (kedalaman akhir pemeriksaan) memiliki daya dukung yang sangat rendah, didominasi tanah lempung lunak *(clay soft)*, dengan kompresitas tinggi.

Kapasitas Daya Dukung Aksial Tiang Pancang

a. Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan kapasitas daya dukung aksial tiang menggunakan metode *Schmertmen-Nottingham 1975*, dengan modul yang digunakan berupa tiang pancang kayu galam dengan diameter 0,08 meter dengan panjang tiang 7 meter.



Gambar 7. Grafik kapasitas daya dukung aksial tiang pancang

Dilihat dari grafik distribusi Qs dan Qp terhadap Qultimit, dapat disimpulkan bahwa daya dukung tiang tunggal sebesar 0,403 ton pada kedalaman 7 m. Pada kedalaman 0,00 m sampai 2,6 m daya dukung tiang yang bekerja didominasi oleh Qp (daya dukung ujung tiang), selanjutnya dari kedalaman 2,8 m sampai dengan 15,00 m daya dukung tiang yang bekerja didominasi oleh Qs (daya dukung selimut tiang). Daya dukung selimut memberikan kontribusi 70% terhadap daya dukung ultimit tiang sedangkan daya dukung ujung memberikan kontribusi 30% terhadap daya dukung ultimit tiang, sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis tiang pancang yang digunakan adalah *friction pile.*

b. Daya Dukung Tiang Kelompok

Daya dukung tiang kelompok diperoleh dari hasil korelasi antara daya dukung batas tiang tunggal, jumlah tiang dalam satu pias pada jalur pondasi dan nilai efisiensi kelompok tiang. Perhitungan daya dukung tiang kelompok dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kapasitas daya dukung kelompok tiang terhadap beban axial yang bekerja pada pondasi.

Tabel 5. Perhitungan daya dukung tiang kelompok

Sumbu y-y											
No.	Joint	Load	Dimensi Poer		Jumlah Galam	Efisiensi	Qp	Qs	Qult single	Qult group	SF
		ton	L (m)	B (m)	buah		ton	ton	ton	ton	
Jalur I											
1	175	21,44	2,08	1,00	50	0,59	0,117	0,286	0,403	11,864	0,553
2	174	40,08	3,90	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,580
3	176	40,80	4,00	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,570
4	177	40,42	4,00	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,575
5	178	41,90	3,90	1,00	95	0,58	0,117	0,286	0,403	22,102	0,527
6	179	30,52	2,40	1,00	60	0,58	0,117	0,286	0,403	14,139	0,463
Jalur II											
7	181	57,70	2,08	1,00	60	0,59	0,117	0,286	0,403	14,237	0,247
8	180	57,35	3,90	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,405
9	182	58,89	4,00	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,395
10	183	58,68	4,00	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,396
11	184	78,27	3,90	1,00	95	0,58	0,117	0,286	0,403	22,102	0,282
12	185	47,04	2,40	1,00	60	0,58	0,117	0,286	0,403	14,139	0,301
Jalur III											
13	187	39,27	2,08	1,00	50	0,59	0,117	0,286	0,403	11,864	0,302
14	186	38,88	3,90	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,598
15	188	39,52	4,00	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,588
16	189	39,31	4,00	1,00	100	0,58	0,117	0,286	0,403	23,239	0,591
17	190	41,45	3,90	1,00	95	0,58	0,117	0,286	0,403	22,102	0,533
18	191	30,66	2,40	1,00	60	0,58	0,117	0,286	0,403	14,139	0,461
Sumbu x-x											
No.	Joint	Load	Dimensi Poer		Jumlah Galam	Efisiensi	Qp	Qs	Qult single	Qult group	SF
		ton	L (m)	B (m)	buah		ton	ton	ton	ton	
1	187	40,52	2,75	1	70	0,58	0,117	0,286	0,403	16,414	0,405
2	191	31,29	2,75	1	70	0,58	0,117	0,286	0,403	16,414	0,525
3	181	60,96	4,35	1	105	0,58	0,117	0,286	0,403	24,377	0,400
4	185	50,11	4,35	1	105	0,58	0,117	0,286	0,403	24,377	0,486
5	175	22,38	2,6	1	65	0,58	0,117	0,286	0,403	15,276	0,683
6	179	30,85	2,6	1	65	0,58	0,117	0,286	0,403	15,276	0,495

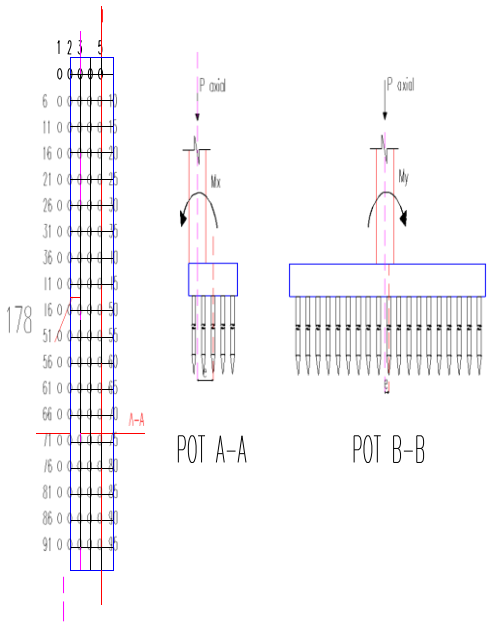
(Sumber: Hasil perhitungan)

Nilai efisiensi mendiskripsikan aksi kelompok tiang baik pada ujung maupun pada keliling tiang terjadi overlapping daerah yang mengalami tegangan-tegangan akibat beban kerja struktur. Pada tiang dengan tahanan gesek/ *friction pile* (pada pondasi tanah lempung atau pasir lepas) maka overlapping tegangan yang terjadi di sekitar tiang akan mempengaruhi daya dukung tiang.

Dari table 5 perhitungan daya dukung tiang kelompok, faktor keamanan yang diperoleh kurang dari faktor keamanan yang disyaratkan yaitu 3,00*(Hardiyatmo, 2010)*.

Distribusi Beban, Eksentris dan *Safety Factor*

Distribusi beban yang dihitung berada pada pondasi jalur 1, dimana pondasi pada jalur 1 merupakan jalur yang mengalami penurunan terbesar dan eksentrisitas pada pondasi. Salah satu sketsa penampang pondasi dapat dilihat pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Sketsa penampang pondasi

Tabel 6. Resume Distribusi Beban

Joint	Jumlah Tiang Pancang	P axial	Momen Normal		Eksentrisitas		Momen Eksentrisitas		Distribusi Beban		Qult single	SF	Ket.
			Mx	My	x	y	ΔMx	ΔMy	P max	P min			
		ton	t.m	t.m	m	m	t.m	t.m	ton	ton	ton		
175	90	18.079	0.225	0.326	-0.325	0.325	-5.876	5.876	0.238	0.200	0.403	1.694	failure
174	100	33.521	-0.152	0.617	-0.325	0.025	-10.894	0.838	0.370	0.304	0.403	1.050	failure
176	100	34.175	-0.117	0.626	-0.325	0.000	-11.107	0.000	0.375	0.310	0.403	1.074	failure
177	100	33.795	-0.111	0.616	-0.325	0.000	-10.983	0.000	0.371	0.307	0.403	1.087	failure
178	95	35.552	-0.084	0.468	-0.325	-0.050	-11.554	-1.778	0.410	0.333	0.403	0.985	failure
179	100	26.547	-0.381	0.430	-0.325	0.000	-8.628	0.000	0.270	0.216	0.403	1.492	failure

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 6 menunjukkan bahwa, pada joint 178 eksentrisitas terjadi sebesar -0,325 meter arah sumbu x dan -0,05 meter arah sumbu y, dari eksentrisitas yang terjadi mengakibatkan terjadinya tambahan momen sebesar -11,554 t.m pada sumbu x (ΔMx) dan -1,778 t.m pada sumbu y (ΔMy). Dapat disimpulkan bahwa dari beberapa joint pada pondasi jalur 1 menunjukkan tambahan momen terbesar berada pada joint 178 dengan momen terbesar ke arah sumbu x.

Eksentrisitas yang terjadi sangat berpengaruh terhadap distribusi beban pada masing-masing tiang pancang. Distribusi beban terbesar berada pada joint 178 dengan jumlah tiang pancang 95 buah, dengan beban maksimum yang bekerja pada tiang pancang sebesar 0,410 ton dan beban minimum sebesar 0,333 ton, beban maximum tersebut melebihi daya dukung batas tiang tunggal sebesar 0,403 ton, sehingga diperoleh *safety factor* sebesar 0,985.

Dari perhitungan distribusi beban pada joint 178, faktor keamanan yang diperoleh kurang dari faktor keamanan yang disyaratkan yaitu 3,00 *(Hardiyatmo, 2010)*.

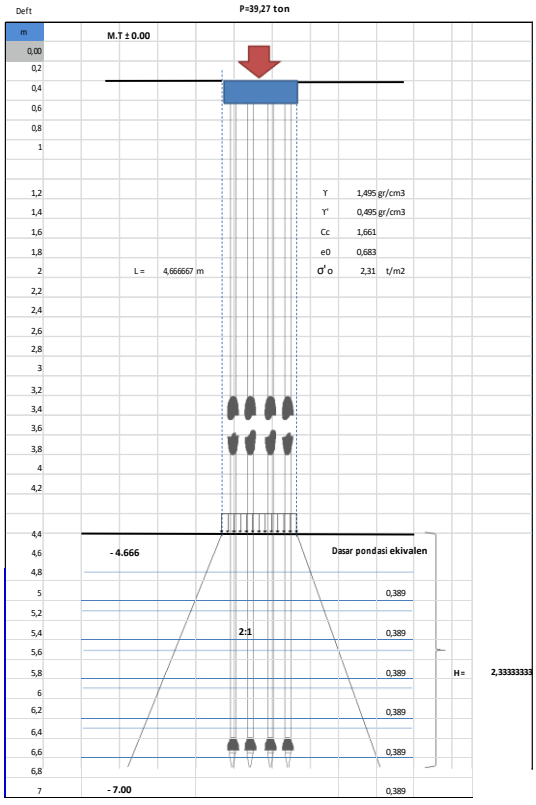
Penurunan Pondasi

Data perhitungan penurunan dan mekanisme penurunan yang terjadi dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 9:

Tabel 7.Penurunan pada joint pondasi

Joint	SC			Si			Si Group		
	y	x	∑SC	y	x	∑Si	y	x	∑Si Group
Jalur I									
174	0,300		0,300	0,039		0,039	0,2692		0,269
175	0,219	0,203	0,422	0,039	0,039	0,078	0,1853	0,214	0,399
176	0,300		0,300	0,039		0,039	0,2692		0,269
177	0,298		0,298	0,039		0,039	0,2692		0,269
178	0,309		0,309	0,039		0,039	0,2620		0,262
179	0,304	0,279	0,583	0,039	0,039	0,078	0,2048	0,214	0,419
Jalur II									
180	0,410		0,410	0,039		0,039	0,2692		0,269
181	0,319	0,378	0,697	0,039	0,039	0,078	0,1853	0,276	0,461
182	0,412		0,412	0,039		0,039	0,2692		0,269
183	0,411		0,411	0,039		0,039	0,2692		0,269
184	0,493		0,493	0,039		0,039	0,2620		0,262
185	0,430	0,357	0,787	0,039	0,039	0,078	0,2039	0,276	0,480
Jalur III									
186	0,317		0,317	0,039		0,039	0,2692		0,269
187	0,364	0,331	0,695	0,039	0,039	0,078	0,1853	0,225	0,410
188	0,317		0,317	0,039		0,039	0,2692		0,269
189	0,316		0,316	0,039		0,039	0,2692		0,269
190	0,332		0,332	0,039		0,039	0,2620		0,262
191	0,329	0,315	0,644	0,039	0,039	0,078	0,2048	0,225	0,430

Sumber : Hasil Perhitungan



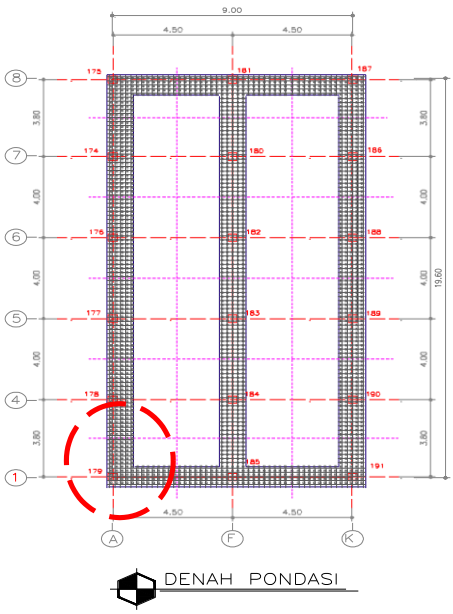
Gambar 9. Mekanisme penurunan yang terjadi pada pondasi tiang

Berdasarkan perhitungan pada tabel 7 menunjukkan bahwa masing-masing jalur pondasi memiliki nilai penurunan yang bervariasi sehingga penurunan yang terjadi pada bangunan merupakan penurunan yang tidak seragam *(differential settlement)*. Pada jalur pertama penurunan terbesar berada pada joint 179 dengan besar penurunan 0,419 meter dan pada jalur kedua, penurunan terbesar berada pada joint 185 dengan besar penurunan 0,480 meter, sedangkan pada jalur ketiga penurunan terbesar berada pada joint 191 dengan besar penurunan 0,430 meter. Dari ketiga jalur pondasi tersebut, penurunan terbesar terjadi pada jalur kedua. Adanya penurunan pondasi yang tidak seragam, mengakibat kegagalan struktur pada bangunan, seperti:

- Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasi.
- Terjadi retakan pada struktur bangunan atas.

Tegangan Internal Struktur Bangunan Atas pada Pondasi Jalur Tanpa Sloof

Pada bangunan ruko 3 lantai ini, pondasi yang digunakan yaitu pondasi jalur tanpa sloof, seperti yang terlihat pada gambar 10 berikut:

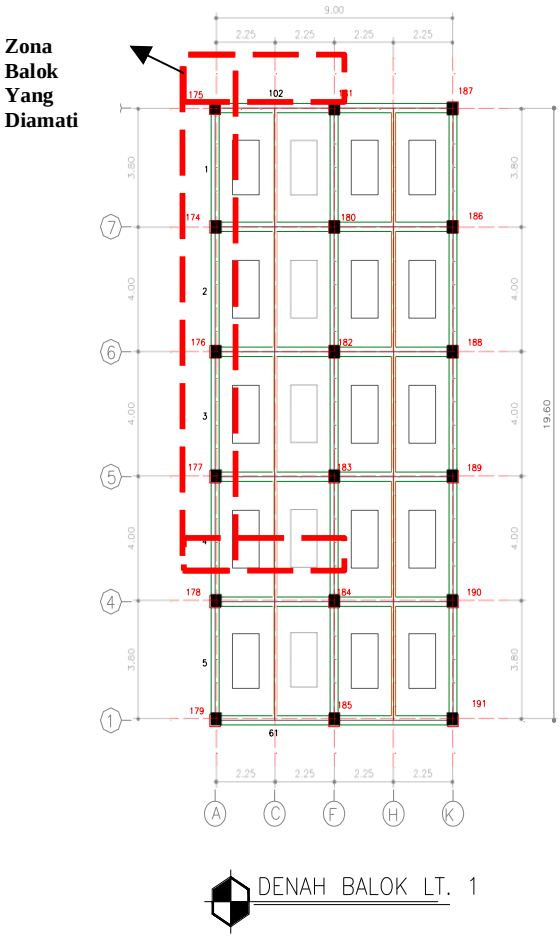


Gambar 10. Desain pondasi bangunan.

Tabel 8. Tegangan internal sebelum dan sesudah penurunan

Frame	Saction	Before Failure			Ket	After Failure			Ket
		Mu (kN.mm)	Mn (kN.mm)	Mr (kN.mm)		Mu (kN.mm)	Mn (kN.mm)	Mr (kN.mm)	
Sumbu Y-Y Jalur 1									
5	Tumpuan	1,54	15,30	12,24	Ok	-972,55	15,30	12,24	Ok
5	Lapangan	9,40	15,30	12,24	Ok	450,99	15,30	12,24	Failure
5	Tumpuan	-0,97	15,30	12,24	Ok	1854,53	15,30	12,24	Failure
4	Tumpuan	-0,99	15,30	12,24	Ok	1124,76	15,30	12,24	Failure
4	Lapangan	9,12	15,30	12,24	Ok	372,83	15,30	12,24	Failure
4	Tumpuan	-0,54	15,30	12,24	Ok	-463,84	15,30	12,24	Ok
3	Tumpuan	-0,99	15,30	12,24	Ok	547,16	15,30	12,24	Failure
3	Lapangan	9,29	15,30	12,24	Ok	87,38	15,30	12,24	Failure
3	Tumpuan	-0,47	15,30	12,24	Ok	-356,74	15,30	12,24	Ok
2	Tumpuan	-1,02	15,30	12,24	Ok	417,08	15,30	12,24	Failure
2	Lapangan	9,23	15,30	12,24	Ok	188,66	15,30	12,24	Failure
2	Tumpuan	-0,54	15,30	12,24	Ok	-88,10	15,30	12,24	Ok
1	Tumpuan	-1,40	15,30	12,24	Ok	2160,93	15,30	12,24	Failure
1	Lapangan	9,72	15,30	12,24	Ok	502,93	15,30	12,24	Failure
1	Tumpuan	2,50	15,30	12,24	Ok	-1116,44	15,30	12,24	Ok
Sumbu X-X									
61	Tumpuan	-8,69	15,30	12,24	Ok	550,53	15,30	12,24	Failure
61	Lapangan	15,48	15,30	12,24	Failure	171,68	15,30	12,24	Failure
61	Tumpuan	-13,75	15,30	12,24	Ok	-718,55	15,30	12,24	Ok
102	Tumpuan	-6,98	15,30	12,24	Ok	843,31	15,30	12,24	Failure
102	Lapangan	11,16	15,30	12,24	Ok	219,11	15,30	12,24	Failure
102	Tumpuan	-8,58	15,30	12,24	Ok	-982,20	15,30	12,24	Ok

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 11. Denah balok yang diamati

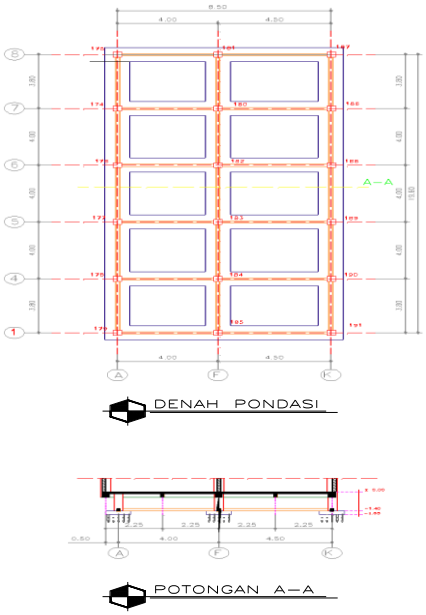
Dari desain pondasi seperti yang terlihat pada gambar 10 menunjukkan bahwa desain pondasi tidak menggunakan sloof, dimana pada umumnya sloof berfungsi sebagai pengaku dan pereduksi gaya-gaya bangunan atas ke system pondasi.

Pada tabel 8 menunjukkan, pada kondisi sebelum terjadinya keruntuhan tegangan yang bekerja pada balok (Mu) lebih kecil dari pada tegangan yang diizinkan (Mn), hanya pada balok nomor 61 terjadi kritis karena pada bagian lapangan tegangan yang bekerja pada balok (Mu) lebih besar dari pada tegangan yang diizinkan (Mn). Adapun pada kondisi setelah terjadi keruntuhan rata-rata balok mengalami kritis dimana tegangan yang bekerja pada balok (Mu) lebih besar dari pada tegangan yang diizinkan (Mn), hal ini dikarenakan adanya pengaruh penurunan (kegagalan pondasi) yang terjadi pada bangunan.Contoh kerusakan yang terjadi pada struktur atas bangunan dapat dilihat pada gambar 12.

Gambar 12. Retakkan dan patahan pada balok lantai dasar joint 179

Alternatif Solusi Redesain

a) Penambahan kedalaman tiang pancang.
b) Penambahan sloof
c) Penambahan jalur pondasi arah melintang



Gambar 13. Alternatif desain pondasi

Tabel 9.Perbandingan joint reaction pondasi

TABLE: Joint Reactions			Desain Fondasi Baru						Desain Fondasi Eksisting					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	*Text*	*Text*	*Ton*	*Ton*	*Ton*	*Ton-m*	*Ton-m*	*Ton-m*	*Ton*	*Ton*	*Ton*	*Ton-m*	*Ton-m*	*Ton-m*
174	COMB1	Combination	-3.777	0.043	35.730	-0.109	-0.245	0.004	2.334	0.262	33.521	-0.152	0.617	0.001
175	COMB1	Combination	-0.289	-1.342	15.263	0.132	0.610	0.009	1.244	-1.232	18.079	0.225	0.326	-0.003
176	COMB1	Combination	-4.108	0.079	36.993	-0.089	-0.292	0.001	2.365	0.178	34.175	-0.117	0.628	0.000
177	COMB1	Combination	-3.897	0.058	36.662	-0.077	-0.222	-0.001	2.321	0.183	33.795	-0.111	0.608	-0.002
178	COMB1	Combination	-3.975	0.058	38.351	-0.052	-0.254	-0.002	1.903	0.124	35.552	-0.084	0.468	-0.001
179	COMB1	Combination	-2.805	1.273	28.908	-0.251	0.046	-0.003	1.755	1.292	26.547	-0.381	0.430	-0.001
180	COMB1	Combination	3.467	0.440	50.629	-0.266	1.825	0.002	-0.009	0.458	50.785	-0.212	0.015	0.000
181	COMB1	Combination	2.426	-2.062	53.665	0.275	1.445	0.005	-0.035	-2.228	53.921	0.469	-0.006	0.001
182	COMB1	Combination	3.811	0.201	52.070	-0.141	1.959	0.000	0.017	0.176	52.273	-0.113	0.023	0.000
183	COMB1	Combination	3.910	0.122	51.898	-0.097	1.999	-0.001	0.017	0.174	52.062	-0.086	0.015	-0.001
184	COMB1	Combination	3.340	-0.650	72.795	0.218	1.856	-0.008	0.020	-0.715	71.921	0.247	0.005	-0.001
185	COMB1	Combination	3.693	0.322	43.976	-0.075	1.875	-0.009	0.002	0.619	43.069	-0.248	-0.010	-0.001
186	COMB1	Combination	-0.872	0.660	32.427	-0.353	0.805	-0.001	-2.364	0.526	32.320	-0.242	-0.591	-0.001
187	COMB1	Combination	-0.043	-1.361	35.596	0.029	0.959	0.013	-1.228	-1.597	35.913	0.264	-0.326	0.012
188	COMB1	Combination	-0.674	0.386	33.042	-0.209	0.888	-0.001	-2.357	0.205	32.899	-0.123	-0.591	-0.001
189	COMB1	Combination	-0.430	0.315	32.877	-0.160	0.969	-0.002	-2.308	0.186	32.688	-0.099	-0.583	-0.001
190	COMB1	Combination	0.159	0.175	34.926	-0.061	1.145	-0.005	-1.912	0.105	35.098	-0.060	-0.472	-0.002
191	COMB1	Combination	0.063	1.283	24.728	-0.217	1.038	-0.019	-1.763	1.283	26.685	-0.358	-0.453	-0.002
Max Load			***3.910***	***1.283***	***72.795***	***0.275***	***1.999***	***0.013***	***2.365***	***1.292***	***71.921***	***0.469***	***0.628***	***0.012***
Min Load			***-4.108***	***-2.062***	***15.263***	***-0.353***	***-0.292***	***-0.019***	***-2.364***	***-2.228***	***18.079***	***-0.381***	***-0.591***	***-0.003***

Dapat dilihat pada tabel 9, bahwa pada desain pondasi yang baru momen yang bekerja pada *Joint assignments* relatif lebih kecil dibandingkan momen yang bekerja pada desain pondasi eksisting.Dengan penambahan jalur pada pondasi juga mampu mengurangi penurunan tak seragam *(differential settlement)* pada pondasi.

5. PENUTUP

Kesimpulan

Hasil evaluasi terhadap kegagalan konstruksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

1) Pada struktur bangunan bawah tidak terdapat sloof, sehingga apabila terjadi penurunan sketika *(Immediate Settlement)* yang tidak seragam, defleksi yang terjadi pada pondasi lebih besar sehingga mengakibatkan plat pondasi mudah patah.
2) Daya dukung tiang kelompok yang terjadi tidak mencapai batas faktor aman yang disyaratkan yaitu 3,00 *(Hardiyatmo, 2010)*, hal ini disebabkan pada kedalaman 7 meter tiang pancang masih berada pada tanah sangat lunak dengan nilai daya dukung batas tiang kelompok lebih kecil daripada beban yang dipikul, sehingga dengan kondisi demikian mengakibatkan terjadinya kegagalan pondasi*(failure)*.
3) Eksentrisitas pada pondasi mengakibatkan terjadinya tambahan momen yang bekerja pada pondasi, hal ini sangat berpengaruh terhadap pendistribusian beban yang bekerja pada tiang pancang. Tambahan momen yang bekerja mengakibatkan beban yang diterima oleh tiang pancang melebihi daya dukung batas tiang tunggal seperti yang terjadi pada Joint 178 beban yang diterima sebesar 0,410 ton sedangkan daya dukung batas tiang tunggal sebesar 0,403 ton dengan *Safety factor* sebesar 0,985.

Saran

1) Harus selalu melakukan penyelidikan tanah pada setiap pembangunan gedung.
2) Lakukan simulasi perencanaan pondasi dengan menggunakan dan tanpa sloof.
3) Selalu melibatkan perencana, pelaksana dan pengawas yang perduli terhadap terpenuhinya syarat-syarat teknis.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Hardiyatmo, H. Cristady. 2010. *Mekanika Tanah 2, Edisi Kelima*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
2. Hardiyatmo, H. Cristady. 2010. *Analisa dan Perancangan Pondasi bagian I.* Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
3. Hardiyatmo, H. Cristady. 2011. *Analisa dan Perancangan Pondasi bagian II.* Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
4. Sardjono. 1988. *Pondasi Tiang Pancang 1*. Sinar Wijaya. Surabaya.
5. Sardjono. 1988. *Pondasi Tiang Pancang 2*. Sinar Wijaya. Surabaya.
6. _____, Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan. *Manual Pondasi Tiang*. Bandung.