

# Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Konvensional dan Metode *P-Z Curve* pada Modifikasi Gedung Apartemen Puncak MERR Surabaya

Riky Dwi Prasetyo, Indrasurya B. Mochtar, Yudhi Lastiasih  
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
*e-mail*: indrasurya@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Surabaya merupakan kota dengan pertumbuhan ekonomi besar yang selalu di atas rata-rata pertumbuhan ekonomi nasional. Banyak penduduk dari luar Surabaya datang ke kota ini sebagai pendatang tiap tahunnya untuk melaksanakan kegiatan ekonomi. Keterbatasan lahan yang ada menuntut perlunya pembangunan bangunan vertikal untuk tempat tinggal, salah satunya adalah Apartemen Puncak MERR yang memiliki kedalaman tanah keras yang cukup dalam sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk pondasi dalam cukup besar. Pada pembangunan gedung dengan pondasi dalam, semakin dalam pondasi maka semakin mahal biaya sehingga tidak ekonomis. Pada metode perencanaan konvensional, perletakan untuk kolom struktur atas terhadap pondasi dianggap jepit dan tidak ada penurunan (*settlement*) pada tanah. Pada tanah lempung yang bersifat *compressible*, pengaruh beban akan menyebabkan terjadinya penurunan tanah sehingga muncul konsep perhitungan tiang pancang yang memperhatikan penurunan tanah dan menganggap perletakan struktur atas berupa perletakan pegas dengan metode *P-Z curve*. Dengan memperhatikan adanya penurunan tanah akan menyebabkan kedalaman tiang pancang berkurang. Metode perencanaan yang digunakan yaitu konvensional jepit dan *P-Z curve* pegas. Variasi daya dukung yang digunakan pada perencanaan ini yaitu  $SF = 3$  untuk metode konvensional dan  $Q_{izin} = 0,3 Q_{ult}$ ,  $Q_{izin} = 0,5 Q_{ult}$ ,  $Q_{izin} = 0,7 Q_{ult}$ , dan  $Q_{izin} = 0,9 Q_{ult}$  pada metode *P-Z curve*. Perencanaan pondasi tiang pancang menggunakan spun pile diameter 60 cm. Kedalaman tanah daya dukung yaitu 21 m untuk pondasi *end bearing* dan 16 m untuk pondasi *friction*. Dari hasil perhitungan didapat jumlah kebutuhan tiang pancang pada metode *P-Z curve* lebih sedikit dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil dari perencanaan ini adalah mendapatkan variasi alternatif hasil analisis metode perencanaan pondasi dalam dengan metode konvensional dan metode *P-Z curve*. Untuk menghemat biaya pembangunan gedung modifikasi Apartemen Puncak MERR maka digunakan pondasi tiang pancang dengan metode *P-Z Curve* tumpuan *end bearing* dengan  $Q_{izin} = 0,9 Q_{ult}$ .

**Kata Kunci**—Pondasi Tiang Pancang, Metode Konvensional, Metode *P-Z curve*, *Settlement*, Biaya.

## I. PENDAHULUAN

**S**URABAYA adalah ibukota Provinsi Jawa Timur dan merupakan kota dengan pertumbuhan ekonomi besar yang selalu di atas rata-rata pertumbuhan ekonomi nasional. Berdasarkan data jumlah penduduk pada tahun 2016, kepadatan penduduk kota Surabaya cukup tinggi, mencapai 8,12 jiwa /km<sup>2</sup>[1] Selain itu, banyak penduduk dari luar

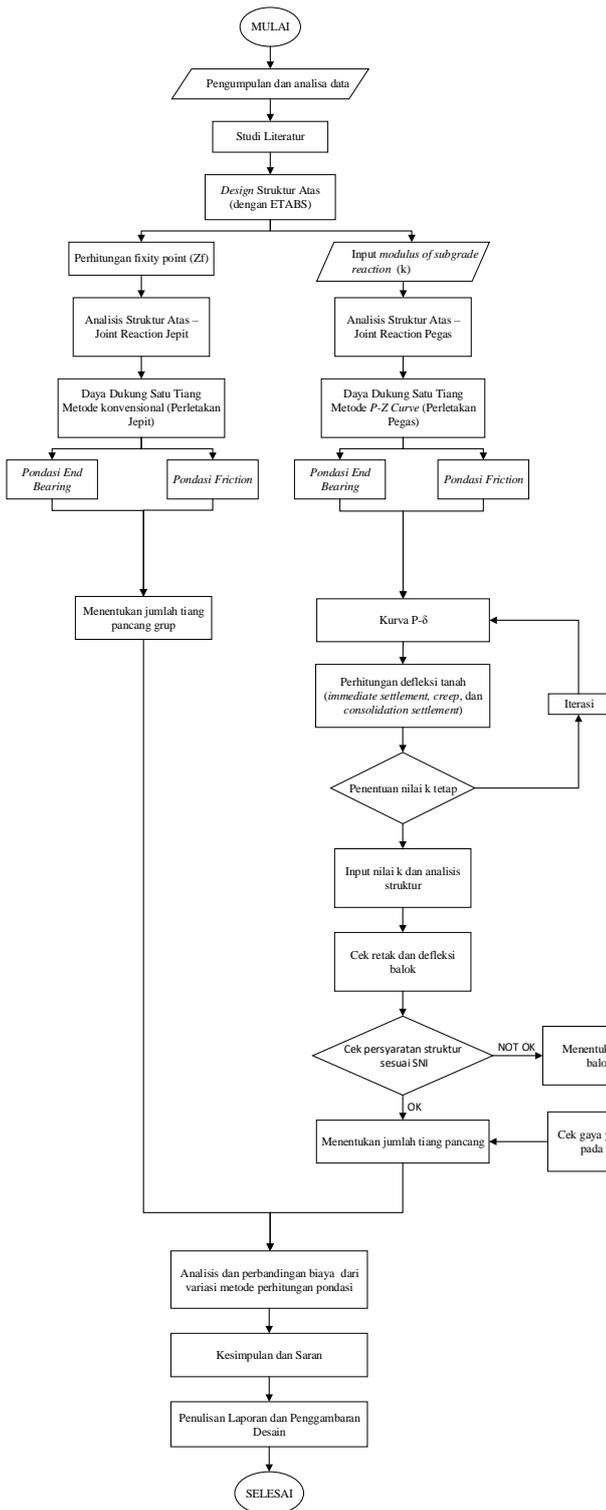
Surabaya datang ke kota ini sebagai pendatang tiap tahunnya untuk melaksanakan kegiatan ekonomi. Menurut data BPS Surabaya, jumlah pendatang di Kota Surabaya pada rentang tahun 2009 - 2014 mencapai 398.143 orang [1]. Di sisi lain, dikutip dari Bappeda Jatim, lahan pertanian di Surabaya menyusut rata-rata 66 hektar per tahun pada tahun 2012 dan diperkirakan akan habis pada tahun 2030. Keterbatasan lahan tersebut menyebabkan semakin banyak pembangunan gedung hunian vertikal/ apartemen karena dirasa lebih efisien dalam memenuhi kebutuhan tempat tinggal. Salah satu gedung apartemen yang dibangun di Surabaya adalah Apartemen Puncak MERR, perpaduan antara pertokoan, perkantoran, apartemen, dan hotel yang dibangun di daerah MERR (*Middle East Ring Road*), Surabaya.

Pada pembangunan gedung dengan pondasi dalam, semakin dalam pondasi maka semakin mahal biaya sehingga tidak ekonomis. Saat ini metode perencanaan pondasi dalam yang sering digunakan adalah dengan menggunakan metode *end bearing pile* dimana tiang pancang dianggap menyalurkan beban sampai pada tanah keras (tumpuan ujung) dan metode *friction pile* dimana daya dukung terjadi akibat interaksi pondasi-tanah pada sisi tiang pancang sebagai gaya gesek (tumpuan gesek)

Apartemen Puncak MERR memiliki kedalaman tanah yang cukup dalam sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk pondasi dalam cukup besar [2]. Pada metode perencanaan konvensional, perletakan untuk kolom struktur atas terhadap pondasi dianggap jepit dan tidak ada penurunan (*settlement*) pada tanah. Pada tanah lempung yang bersifat *compressible*, pengaruh beban akan menyebabkan terjadinya penurunan tanah sehingga muncul konsep perhitungan tiang pancang yang memperhatikan penurunan tanah dan menganggap perletakan struktur atas berupa perletakan pegas dengan metode *P-Z curve*. Dengan memperhatikan adanya penurunan tanah akan menyebabkan kedalaman tiang pancang berkurang [3].

Dari kasus di atas, maka dilakukan perencanaan pondasi pada gedung modifikasi Apartemen Puncak MERR dengan membandingkan metode konvensional (perletakan jepit) dengan metode *P-Z curve* (perletakan pegas) serta dampaknya terhadap pemampatan yang terjadi dan pengaruh terhadap momen/ defleksi struktur atas. Dengan demikian dapat diperoleh alternatif perencanaan untuk analisis perbandingan harga sehingga didapatkan metode perencanaan yang paling ekonomis.

II. METODOLOGI



Gambar 1. Flowchart Metodologi.

III. ANALISIS DATA

A. Pengumpulan dan Analisis Data Tanah

Data tanah untuk pengerjaan perencanaan ini didapat dari kontraktor proyek pembangunan Apartemen Puncak MERR. Lokasi proyek berada di Wonorejo, Surabaya. Data hasil *Standard Penetration Test* dibuat perbandingan grafik hubungan  $N_{spt}$  dan kedalaman tanah. Dari hasil *Standard Penetration Test* dan *Bore Log* dapat diketahui jenis tanah dan konsistensi tanah untuk masing-masing titik (Gambar 2) [2].

Depth Z	Consistency							
	DB 1	DB 2	DB 3	DB 4	DB 5	DB 6	DB 7	DB 8
0								
1	Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Soft	Soft
2								
3	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft
4								
5	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft
6								
7	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft
8								
9	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Loose	Very Soft	Very Soft	Very Soft	Very Soft
10								
11	Stiff	Medium	Medium	Medium	Medium	Very loose	Loose	Loose
12								
13	Stiff	Stiff	Stiff	Stiff	Stiff	Medium	Medium	Stiff
14								
15	Medium	Stiff	Very Dense	Very Stiff	Stiff	Very Stiff	Stiff	Stiff
16								
17	Very Dense	Very Stiff	Very Stiff	Medium	Very Stiff	Hard	Hard	Very Stiff
18								
19	Very Stiff	Very Dense	Very Dense	Dense	Very Stiff	Very Stiff	Very Stiff	Stiff
20								
21	Very Stiff	Very Stiff	Hard	Dense	Dense	Very Dense	Very Dense	Medium
22								
23	Very Stiff	Very Stiff	Very Stiff	Very Stiff	Dense	Very Dense	Dense	Dense
24								
25	Hard	Very Stiff	Stiff	Dense				
26								
27	Very Stiff	Very Stiff	Hard	Medium	Medium	Very Stiff	Very Stiff	Very Stiff
28								
29	Very Stiff	Very Stiff	Very Stiff	Hard	Very Stiff	Dense	Very Stiff	Very Stiff
30								

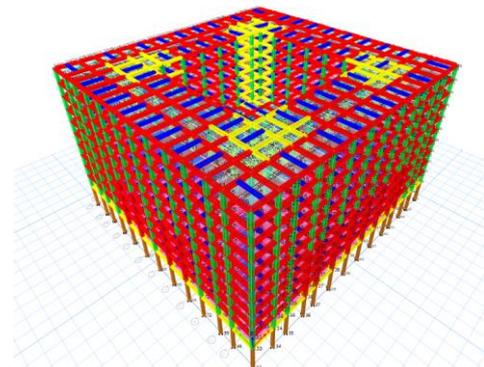
Gambar 2. Perbandingan jenis dan konsistensi tanah antar titik penyelidikan tanah.

Dari perbandingan  $N_{SPT}$  dan jenis-konsistensi tanah pada Gambar 2 maka dipilih tanah dengan kondisi paling kritis yaitu tanah titik DB-8. Data tanah DB-8 ini akan digunakan sebagai data tanah untuk perencanaan dan pengerjaan perencanaan ini.

Data tanah yang berasal dari proyek untuk perencanaan ini hanya berupa data  $N_{SPT}$  dan *Bore Log* sehingga diperlukan analisis untuk mencari data parameter tanah yang lain dengan cara korelasi sesuai jenis tanah dan  $N_{SPT}$ . Nilai parameter tanah dibagi menjadi layer per kedalaman tertentu berdasarkan jenis dan konsistensi tanah.

B. Perancangan dan Analisis Struktur Atas

Rancangan struktur atas untuk perencanaan ini didapat dari data proyek yang kemudian dimodifikasi. Permodelan struktur bertujuan untuk mendapatkan reaksi perletakan yang nantinya akan digunakan sebagai beban untuk perencanaan pondasi. Hasil perancangan struktur atas dimodelkan ke dalam ETABS untuk dilakukan analisis struktur (Gambar 2). Analisis struktur ini bertujuan untuk cek kondisi struktur dan untuk mendapatkan reaksi perletakan struktur. Titik tumpuan untuk perletakan struktur pada gedung ini berjumlah 182 titik.



Gambar 2. Model struktur atas.

Dari hasil input model struktur gedung, program ETABS akan menentukan penomoran label perletakan (*joint label*). Dari posisi dan koordinat perletakan tersebut, dibuat Tabel berisi label perletakan sesuai sumbu posisi perletakan

tersebut (Tabel 1). Tabel ini akan digunakan acuan untuk menampilkan hasil perhitungan pada perletakan pada pembahasan selanjutnya.

Tabel 1.  
Label perletakan sesuai sumbu koordinat pada ETABS

Axis	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	26
2	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	25
3	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	24
4	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	23
5	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	22
6	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	21
7	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	20
8	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	19
9	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	18
10	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	17
11	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	16
12	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	15
13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Pada metode konvensional perletakan struktur berupa jepit (*fixed joint*) dimana perletakan struktur tidak mengalami translasi maupun rotasi, sehingga reaksi perletakan menghasilkan rekasi arah vertikal, horizontal, dan momen. Di sisi lain, perletakan jepit ini menghasilkan translasi dan rotasi nol sehingga struktur gedung diasumsikan tidak mengalami *displacement* baik arah vertikal maupun horizontal.

Pada metode *P-Z Curve* perletakan struktur berupa pegas (*spring joint*) dimana perletakan struktur dianggap elastis, dimana faktor *displacement* pada perletakan diperhitungkan. Hal ini disebabkan karena secara aktual, tanah lunak selalu mengalami *displacement* jika dibebani. Pada perencanaan ini, *displacement* yang diperhitungkan hanya pada arah vertikal (penurunan tanah). Hal ini menyebabkan reaksi yang terjadi pada perletakan pegas hanya rekasi vertikal, sedangkan reaksi horizontal dan momen bernilai nol. Pada ETABS, fungsi yang dipakai adalah fungsi *point spring* dimana satu titik perletakan dimasukkan satu *spring*.

C. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah pada perencanaan perencanaan ini dihitung menggunakan program bantu Allpile. Program Allpile menghitung daya dukung tanah menggunakan metode NAVFAC DM-7 [4][5]. Alasan pemakaian program Allpile untuk perhitungan daya dukung tanah ini adalah agar tidak terjadi penyimpangan terhadap bentuk kurva *load-settlement* yang akan digunakan pada metode *P-Z Curve*.

Nilai daya dukung tanah yang dihasilkan berupa daya dukung tanah ultimate harus dibagi dengan faktor keamanan SF (*safety factor*)/ load rasio. Untuk perencanaan metode konvensional digunakan  $Q_{izin}$  dengan SF = 3. Sedangkan pada metode *P-Z curve* digunakan  $Q_{izin}$  dengan variasi 0,3  $Q_{ult}$ , 0,5  $Q_{ult}$ , 0,7  $Q_{ult}$ , dan 0,9  $Q_{ult}$ . Nilai daya dukung tanah untuk perencanaan ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari nilai daya dukung izin, maka perlu dikontrol kekuatan aksial dari tiang pancang yang dipilih (WIKI Spun Pile diameter 60 cm). Kontrol kekuatan aksial dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{allowable} \geq Q_{izin} \tag{1}$$

Nilai  $P_{allowable}$  untuk tiang pancang yang dipilih adalah 2527 kN. Kontrol untuk masing-masing  $Q_{izin}$  disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2.

Nilai daya dukung dan kontrol kekuatan aksial tiang pancang terhadap  $Q_{izin}$  masing-masing metode perencanaan

Metode	$Q_{izin}$ (kN)	$P_{allowable}$ (kN)	Kontrol
Konvensional End Bearing	758,6	2527	OK
Konvensional Friction	310,64	2527	OK
P-Z Curve End Bearing 0,3 Ult	682,74	2527	OK
P-Z Curve End Bearing 0,5 Ult	1137,9	2527	OK
P-Z Curve End Bearing 0,7 Ult	1593,06	2527	OK
P-Z Curve End Bearing 0,9 Ult	2048,22	2527	OK
P-Z Curve Friction 0,3 Ult	279,57	2527	OK
P-Z Curve Friction 0,5 Ult	465,95	2527	OK
P-Z Curve Friction 0,7 Ult	652,33	2527	OK
P-Z Curve Friction 0,9 Ult	838,71	2527	OK

IV. PERENCANAAN GEOTEKNIK

Pada tahap ini dilakukan perencanaan pondasi tiang pancang metode konvensional dan *P-Z Curve*. Perhitungan dilakukan untuk masing-masing jenis tiang pancang *end bearing* dan *friction*. Pondasi tiang pancang *end bearing* menggunakan ujung pondasi sebagai kekuatan daya dukungnya. Sedangkan pondasi *friction* menganggap tiang pancang diletakkan tidak sampai menyentuh tanah keras. Pondasi tiang pancang *friction* menggunakan lekatan tanah pada sepanjang selimut pondasi sebagai kekuatan daya dukungnya.

Perhitungan daya dukung pondasi metode konvensional yaitu dengan asumsi tidak ada penurunan pada tiang pancang ( $\Delta \approx 0$ ). Pada *input* ETABS pondasi ini diasumsikan sebagai perletakan jepit. Perhitungan kekuatan pondasi perletakan pegas metode *P-Z curve* yaitu dengan dengan asumsi adanya penurunan/ *settlement* pada tiang pancang ( $\Delta \neq 0$ ). Besarnya daya dukung tanah diasumsikan memiliki daya dukung izin bervariasi sesuai *load rasio* yaitu 0,3; 0,5; 0,7; dan 0,9 daya dukung ultimate tanah. Pada *input* ETABS pondasi ini diasumsikan sebagai perletakan pegas.

Perencanaan jumlah tiang pancang dilakukan setelah mengetahui daya dukung pada satu pondasi tiang pancang untuk masing-masing metode perencanaan dan berat total dari struktur atas, sehingga dapat dihitung jumlah pancang yang dibutuhkan dalam satu grup untuk menahan distribusi berat dari struktur di atasnya.

A. Perencanaan Pondasi Metode Konvensional

Reaksi perletakan untuk metode konvensional diambil dari

permodelan struktur dengan perletakan jepit. Reaksi perletakan yang diambil untuk perencanaan merupakan reaksi terbesar dari beberapa kombinasi pembebanan.

Jika beban aksial yang diterima perletakan melebihi daya dukung izin satu tiang, maka diperlukan lebih dari satu tiang pancang. Untuk mengetahui jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dalam satu titik perletakan (satu kolom) adalah dengan membagi beban aksial dengan daya dukung izin satu tiang. Besarnya daya dukung izin satu tiang ditentukan dari besarnya daya dukung izin tanah sesuai kedalaman (21 m untuk *end bearing* dan 16 m untuk *friction*).

Jumlah tiang pancang rencana atau perkiraan awal sebelum dilakukan perhitungan grup adalah sebagai berikut:

$$n_{\text{perkiraan}} = \frac{P}{Q_{\text{izin}}} \quad (2)$$

Setelah diketahui jumlah perkiraan awal tiang pancang yang dibutuhkan sesuai dengan beban aksial yang diterima titik perletakan dan kekuatan daya dukungnya. Pada saat sebuah tiang merupakan bagian dari sebuah grup, daya dukungnya mengalami modifikasi, karena pengaruh dari konfigurasi dan jarak antar tiang tersebut. Besarnya daya dukung grup ditentukan dari nilai efisiensi grup ( $C_e$ ) yang dihitung menggunakan persamaan Converse-Labarre [6] :

$$C_e = 1 - \left\{ 1 - \left( \frac{\arctan(\frac{\phi}{S})}{90^\circ} \right) \times \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \right\} \quad (3)$$

Sehingga nilai daya dukung grup adalah :

$$Q_{\text{grup}} = Q_{\text{izin}} \times n \times C_e \quad (4)$$

Dari perhitungan grup tiang pancang didapatkan jumlah tiang pancang yang memenuhi persyaratan daya dukung.

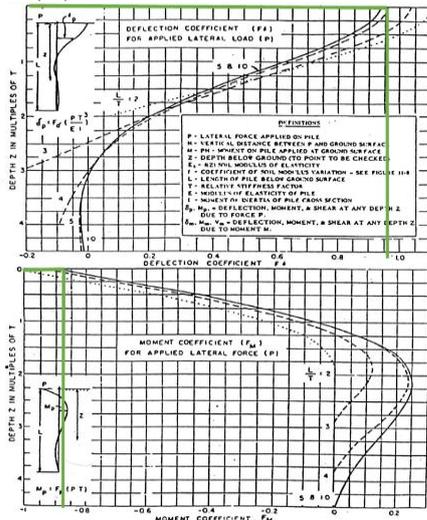
Selain harus memenuhi daya dukung grup, tiang pancang juga harus memenuhi kekuatan lateral yang ditunjukkan dengan kontrol momen dan defleksi tiang pancang sesuai NAVFAC DM-7 [5].

Langkah perhitungan kekuatan lateral adalah :

- 1) Perhitungan faktor kekakuan relatif/ *relative stiffness factor* ( $T$ )

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (5)$$

- 2) Mencari nilai koefisien momen ( $F_m$ ) dan koefisien defleksi ( $F_\delta$ )



Gambar 3. Grafik untuk mencari nilai  $F_m$  dan  $F_\delta$ .

- 3) Menghitung besarnya momen dan defleksi  
 Besar nilai momen maksimal yang terjadi adalah:

$$M_{\text{max}} = F_m \times T \times Ph \quad (6)$$

Besar defleksi yang terjadi adalah :

$$\delta = F_\delta \left( \frac{Ph.T}{EI} \right)^3 \quad (7)$$

- 4) Kontrol momen dan defleksi

Untuk kontrol momen syaratnya adalah :

$$M_{\text{max}} \leq M_{\text{crack}} \quad (8)$$

Sedangkan kontrol defleksi syaratnya adalah :

$$\delta \leq 2,54 \text{ cm} \quad (9)$$

Jumlah tiang pancang untuk metode konvensional adalah sebagai berikut.

Tabel 3.

Jumlah tiang pancang metode konvensional <i>End Bearing</i>														
Axis	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
5	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3
6	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
7	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3
8	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
9	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3
10	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
11	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
12	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
13	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2

Tabel 4.

Jumlah Tiang Pancang Metode Konvensional <i>Friction</i>														
Axis	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	6	7	7	7	7	8	9	9	8	7	7	7	7	6
2	7	9	9	9	9	10	11	11	10	9	9	9	9	7
3	7	9	9	9	9	11	11	11	11	9	9	9	9	7
4	8	9	9	9	9	10	10	10	10	9	9	9	9	8
5	8	11	10	8	6	7	7	7	7	8	8	10	11	8
6	9	11	11	9	6	7	7	7	7	9	9	11	11	9
7	8	10	11	9	7	7	7	7	7	9	9	11	11	8
8	9	11	11	9	6	7	7	7	7	9	9	11	11	9
9	8	11	10	8	6	7	7	7	7	8	8	10	11	9
10	8	9	9	9	9	10	10	10	10	9	9	9	9	9
11	7	9	9	9	9	11	11	11	11	9	9	9	9	7
12	7	9	9	9	9	10	11	11	10	9	9	9	9	7
13	6	7	7	7	7	8	9	9	8	7	7	7	7	6

**B. Perencanaan Pondasi Metode P-Z Curve**

Reaksi perletakan untuk metode *P-Z Curve* diambil dari permodelan struktur dengan perletakan pegas (*spring*). Reaksi perletakan yang diambil untuk perencanaan merupakan reaksi terbesar dari beberapa kombinasi pembebanan.

Berdasarkan hasil reaksi perletakan, didapat nilai penurunan ( $\delta$ ) dari data UZ perletakan. Nilai penurunan aktual yang terjadi dikontrol apakah sudah memiliki penurunan yang cukup merata, dengan perbedaan penurunan yang terjadi maksimal 0,6 cm [7].

Dari nilai reaksi perletakan vertikal dicari perkiraan jumlah tiang pancang, dalam hal ini jumlah asumsi spring yang dibutuhkan untuk tiap perletakan. Perhitungan jumlah spring untuk setiap perletakan ini sama seperti perhitungan jumlah perletakan pada metode konvensional. Nilai reaksi vertikal lalu dibagi dengan  $Q_{\text{izin}}$  untuk mendapatkan nilai gaya aksial yang diizinkan.

Dari nilai  $P$  lalu dicari  $\delta$  dengan grafik *load-settlement*. Setelah didapatkan  $P$  dan  $\delta$ , maka dicari nilai konstanta pegas ( $K$ ) dari perletakan [7].

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i} \quad (10)$$

Perhitungan konstanta pegas baru di atas dilakukan pada semua titik perletakan. Setelah *input* semua nilai  $K$  baru pada ETABS, dilakukan analisis struktur. Dari analisis struktur didapat nilai reaksi perletakan vertikal ( $FZ$ ) yang baru dan

nilai *displacement* vertikal/ penurunan (UZ) yang baru. Jika penurunan yang terjadi (UZ) masih memiliki perbedaan yang cukup besar, maka dilakukan iterasi pembebanan.

Berdasarkan perhitungan iterasi pembebanan, diketahui jumlah kebutuhan tiang pancang (*spring*), lalu dilakukan perhitungan grup tiang pancang. Pada perencanaan metode *P-Z Curve* ini, dipakai konfigurasi dan perhitungan yang sama dengan metode konvensional.

Perbedaan perhitungan grup tiang pancang dengan metode konvensional adalah tidak adanya kontrol momen dan defleksi, karena pada perencanaan metode *P-Z Curve* ini perletakkannya berupa pegas sehingga tidak menghasilkan reaksi perletakan horizontal dan momen. Hal ini menyebabkan nilai momen dan defleksi pada tiang pancang diasumsikan nol.

Setelah dilakukan perhitungan grup tiang pancang, maka didapat revisi jumlah tiang pancang (*spring*). Dari revisi jumlah tiang pancang tersebut dilakukan iterasi lagi untuk mengontrol apakah dengan jumlah tiang pancang sekian beban yang bekerja sudah terdistribusi sehingga menghasilkan penurunan tanah yang merata.

Setelah dilakukan kontrol grup tiang pancang dan iterasi dari jumlah *spring* yang sudah memenuhi persyaratan grup

tiang pancang, diperoleh jumlah *spring*/ tiang pancang yang dipakai untuk perencanaan ini.

### V. ANALISIS BIAAYA

Berdasarkan hasil analisis struktur atas dan perencanaan pondasi maka didapatkan dimensi struktur atas dan jumlah kebutuhan pondasi tiang pancang untuk masing-masing metode perencanaan pondasi. Dari hasil dimensi dan jumlah pondasi maka dilakukan perhitungan estimasi biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan gedung modifikasi Puncak MERR Surabaya sesuai metode perencanaan yang digunakan.

Untuk struktur atas gedung, biaya yang dihitung adalah biaya bahan yang digunakan untuk pembangunan struktur pelat, balok anak, balok induk, dan kolom. Bahan yang digunakan adalah beton bertulang. Metode pelaksanaan seperti alat yang digunakan dan bekisting tidak dihitung. Acuan untuk harga beton untuk perhitungan biaya ini adalah HSPK Kota Surabaya 2018 [8]. Perhitungan biaya struktur atas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.  
Perhitungan Biaya untuk Semua Elemen Struktur Atas

Elemen	Dimensi	Panjang/tebal	Jumlah	Volume	Volume	Harga Satuan	Biaya
	(cm x cm)	L (cm)	n	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rp/m <sup>3</sup>	Rp
Kolom 1	60 x 60	350	88	110880000	110,88	Rp1.381.964	Rp153.232.168
		300	264	285120000	285,12	Rp1.381.964	Rp394.025.576
Kolom 2	55 x 55	350	46	48702500	48,7025	Rp1.381.964	Rp67.305.102
		300	714	647955000	647,955	Rp1.381.964	Rp895.450.484
Kolom 3	50 x 50	350	16	14000000	14	Rp1.381.964	Rp19.347.496
		300	384	288000000	288	Rp1.381.964	Rp398.005.632
Balok 1	40 x 60	350	120	87840000	87,84	Rp1.160.338	Rp101.924.090
		340	420	342720000	342,72	Rp1.160.338	Rp397.671.039
		445	112	119616000	119,616	Rp1.160.338	Rp138.794.990
		480	880	1013760000	1013,76	Rp1.160.338	Rp1.176.304.251
		500	836	1003200000	1003,2	Rp1.160.338	Rp1.164.051.082
Balok 2	35 x 50	305	106	56577500	56,5775	Rp1.160.338	Rp65.649.023
		340	174	103530000	103,53	Rp1.160.338	Rp120.129.793
		445	124	96565000	96,565	Rp1.160.338	Rp112.048.039
		480	308	258720000	258,72	Rp1.160.338	Rp300.202.647
		500	201	175875000	175,875	Rp1.160.338	Rp204.074.446
Balok Anak	30 x 40	445	40	21360000	21,36	Rp1.160.338	Rp24.784.820
		480	500	288000000	288	Rp1.160.338	Rp334.177.344
		500	80	48000000	48	Rp1.160.338	Rp55.696.224
Pelat 0	31347900	20	626958000	626,958	Rp1.160.338	Rp727.483.192	
Pelat 1	31347900	15	1410655500	1410,6555	Rp1.160.338	Rp1.636.837.182	
Pelat 2	22360000	15	2012400000	2012,4	Rp1.160.338	Rp2.335.064.191	
Pelat 3	27347900	15	410218500	410,2185	Rp1.160.338	Rp475.992.114	
Pelat 4	4000000	15	1	60000000	60	Rp1.160.338	Rp69.620.280
Total							Rp11.367.871.204

Untuk pondasi, biaya yang dihitung adalah harga tiang pancang yang dibutuhkan, biaya pemancangan, dan biaya pengelasan jika diperlukan lebih dari satu tiang pancang pada satu titik. Perhitungan biaya tiang pancang didapat dari HSPK Kota Surabaya 2018 [8] dan penelusuran referensi [3],[9] adalah sebagai berikut: harga pemancangan Rp. 411.903-/m; harga pengelasan Rp. 672.552-/ titik; harga pemotongan Rp.

271.570-/m; dan harga untuk satu batang tiang pancang sepanjang 16 meter Rp.6.700.000, -/batang.

Berdasarkan hasil perhitungan biaya, dibuat Tabel rekapitulasi biaya total untuk gedung modifikasi Puncak MERR Surabaya untuk masing-masing metode perencanaan yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6.  
Rekapitulasi Biaya Total untuk Setiap Metode Perencanaan

Metode	Jumlah Tiang	Biaya Struktur Atas	Biaya Pondasi	Biaya Total
Konvensional End Bearing	644	Rp11.367.871.204	Rp16.557.101.640	Rp27.924.972.844
Konvensional Friction	1562	Rp11.367.871.204	Rp20.759.679.776	Rp32.127.550.980
P-Z Curve End Bearing 0,3 Ult	698	Rp11.367.871.204	Rp17.945.430.038	Rp29.313.301.242
P-Z Curve End Bearing 0,5 Ult	404	Rp11.367.871.204	Rp10.386.753.203	Rp21.754.624.407
P-Z Curve End Bearing 0,7 Ult	318	Rp11.367.871.204	Rp8.175.711.679	Rp19.543.582.883
P-Z Curve End Bearing 0,9 Ult	214	Rp11.367.871.204	Rp5.501.894.023	Rp16.869.765.227
P-Z Curve Friction 0,3 Ult	1718	Rp11.367.871.204	Rp22.832.989.664	Rp34.200.860.868
P-Z Curve Friction 0,5 Ult	1034	Rp11.367.871.204	Rp13.742.323.232	Rp25.110.194.436
P-Z Curve Friction 0,7 Ult	722	Rp11.367.871.204	Rp9.595.703.456	Rp20.963.574.660
P-Z Curve Friction 0,9 Ult	536	Rp11.367.871.204	Rp7.123.680.128	Rp18.491.551.332

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan dalam perencanaan ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Struktur gedung modifikasi Apartemen Puncak MERR dimodifikasi menjadi 10 lantai dan dilakukan modifikasi dimensi elemen struktur yang terdiri dari kolom 1 60 x 60 cm<sup>2</sup>, kolom 2 55 x 55 cm<sup>2</sup>, kolom 3 50 x 50 cm<sup>2</sup>, balok 1 40 x 60 cm<sup>2</sup>, balok 2 30 x 50 cm<sup>2</sup>, balok anak 30 x 40 cm<sup>2</sup>, pelat 0 tebal 20 cm, pelat 1 s/d pelat 4 tebal disamakan 15 cm. Hasil Analisis struktur menunjukkan hasil modifikasi gedung dapat dipakai untuk perencanaan.
- 2) Metode perencanaan yang digunakan yaitu konvensional jepit dan *P-Z curve* pegas. Untuk gedung modifikasi Apartemen Puncak MERR yang tidak simetris pada perencanaan ini, didapat hasil analisis struktur didapatkan momen yang dihasilkan pada metode konvensional hampir sama momen pada metode *P-Z curve*. Variasi daya dukung yang digunakan pada perencanaan ini yaitu SF = 3 untuk metode konvensional dan  $Q_{izin} = 0,3 Q_{ult}$ ,  $Q_{izin} = 0,5 Q_{ult}$ ,  $Q_{izin} = 0,7 Q_{ult}$ , dan  $Q_{izin} = 0,9 Q_{ult}$  pada metode *P-Z curve*.
- 3) Perencanaan pondasi tiang pancang menggunakan *spun pile* diameter 60 cm. Kedalaman tanah daya dukung yaitu 21 m untuk pondasi *end bearing* dan 16 m untuk pondasi *friction*. Jumlah kebutuhan tiang pancang yaitu:

Tabel 7.  
Jumlah tiang pancang untuk masing-masing metode perencanaan

Metode	Jumlah Tiang
Konvensional End Bearing	644
Konvensional Friction	1562
P-Z Curve End Bearing 0,3 Ult	698
P-Z Curve End Bearing 0,5 Ult	404
P-Z Curve End Bearing 0,7 Ult	318
P-Z Curve End Bearing 0,9 Ult	214
P-Z Curve Friction 0,3 Ult	1718
P-Z Curve Friction 0,5 Ult	1034
P-Z Curve Friction 0,7 Ult	722
P-Z Curve Friction 0,9 Ult	536

- 4) Defleksi dan retak yang terjadi pada balok untuk semua metode perencanaan telah memenuhi persyaratan yaitu kurang dari 480/panjang balok untuk defleksi dan kurang dari 0,4 (balok interior) atau 0,3 (balok eksterior)

untuk retak, sehingga tidak perlu dilakukan perubahan dimensi struktur.

- 5) Biaya total untuk gedung modifikasi Puncak MERR Surabaya untuk masing-masing metode perencanaan adalah sebagai berikut:

Tabel 8.  
Biaya Total untuk Masing-masing Metode Perencanaan

Metode	Biaya Total
Konvensional End Bearing	Rp27.924.972.844
Konvensional Friction	Rp32.127.550.980
P-Z Curve End Bearing 0,3 Ult	Rp29.313.301.242
P-Z Curve End Bearing 0,5 Ult	Rp21.754.624.407
P-Z Curve End Bearing 0,7 Ult	Rp19.543.582.883
P-Z Curve End Bearing 0,9 Ult	Rp16.869.765.227
P-Z Curve Friction 0,3 Ult	Rp34.200.860.868
P-Z Curve Friction 0,5 Ult	Rp25.110.194.436
P-Z Curve Friction 0,7 Ult	Rp20.963.574.660
P-Z Curve Friction 0,9 Ult	Rp18.491.551.332

Saran untuk perhitungan pondasi dengan metode perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk menghemat biaya pembangunan gedung modifikasi Apartemen Puncak MERR maka digunakan pondasi tiang pancang dengan metode *P-Z Curve* tumpuan *end bearing* dengan  $Q_{izin} = 0,9 Q_{ult}$  sebesar Rp. 16.869.765.22, -.
- 2) Pada konfigurasi struktur yang tidak simetris seperti pada gedung modifikasi Apartemen Puncak MERR ini, disarankan menggunakan metode *P-Z Curve* karena tidak perlu dilakukan perubahan dimensi struktur untuk mencapai penurunan merata sehingga perhitungan lebih cepat dan mendapat jumlah kebutuhan pondasi tiang pancang lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1949-2016.," 2018. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>.
- [2] WIKA, "Laporan Perhitungan Struktur dan Gambar Desain Perencanaan."
- [3] D. R. Sandra, "Analisis Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Konvensional dan Metode P-Y Curve pada Lapisan Tanah Lunak yang Tebal: Studi Kasus Kota Banjarmasin dengan Kedalaman Tanah Keras 40 Meter," 2015.
- [4] C. Software, "All Pile Version 7 User Manual," *CivilTech Software*.
- [5] "NAVFAC DM7.01 Soil Mechanics."
- [6] Herman Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dalam*.

- [7] Y. Lastiasih and I. B. Mochtar, "Usulan Metoda Perhitungan Interaktif Struktur Pondasi di Atas Tanah Lunak dengan Menyertakan Pengaruh Penurunan Konsolidasi Jangka Panjang," *MEDIA Komun. Tek. SIPIL*, vol. 16, no. 2, pp. 160–170, 2008.
- [8] "LPSE Kota Surabaya."
- [9] Felix Cahyo Kuncoro Jakti, "Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Pelaksanaan Tiang Pancang dan Tiang Bor Studi Kasus Perencanaan Rumah Sakit Kelas B Bandung."