

# Analisis Perilaku Tiang Tunggal Akibat Beban Aksial Tekan dengan Metode Empirik dan Elemen Hingga

M. Gevin Ardi<sup>1)</sup>, M. Yusa<sup>2)</sup>, S.A. Nugroho<sup>3)</sup>

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil S1, 2) Dosen Jurusan Teknik Sipil  
Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Teknik Sipil Universitas Riau  
Program Studi Teknik Sipil S1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. H.R. Soebrantas KM. 12,5 Simpang Baru, Tampan,  
Pekanbaru 28293  
E-mail: m.gevin@student.unri.ac.id

## ABSTRACT

*The purpose of this research is to analyse the behavior of single piles under axial compressive load, as far as settlement, load transfer mechanism, and static loading test are concerned. It includes a literary review of two elastic theory-based methods, the Poulos and Davis method and the Randolph and Wroth method, as well as axisymmetric elastic modelling using the finite element-based program Optum G2. The result given by each method are organized in dimensionless charts of settlement and proportion of load transferred to the pile base in terms of the pile slenderness ratio and soil inhomogeneity and the load in terms of the pile settlement and compared amongst each other. This research also studies axisymmetric elastoplastic modelling in Optum G2, considering the Mohr-Coulomb failure criterion. The case study of the simulation static load test performed on test pile. The soil parameters are got of some project in Riau Province. Although limited information is available regarding the geological and the geotechnical conditions of the site, the overall results were quite satisfactory*

**Keywords** : pile, axial, elastic method, finite element

## I. PENDAHULUAN

Provinsi Riau termasuk daerah yang perkembangan fisiknya sangat pesat dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Bukti fisik dari perkembangan Riau yang pesat adalah pembangunan Menara Dang Merdu, Transmart, Sadira Plaza dan Tangram Hotel, dan 3 titik Fly Over. Disilain kondisi tanah di Prov. Riau pada umumnya tanah lunak dimana letak tanah keras dengan daya dukung cukup untuk memikul berat dari bangunan diatasnya relatif dalam dari permukaan. Hal ini mengakibatkan penggunaan pondasi tiang banyak digunakan. Tentunya penggunaan pondasi tiang ini harus diikuti dengan perencanaan yang baik.

Umumnya perencanaan pondasi tiang dilakukan dengan menghitung daya dukung aksial secara empirik berdasarkan hasil Uji Standar Penetrasi (SPT) dan Sondir. Daya dukung aksial ini kemudian dibandingkan dengan beban struktur atas, jika nilai daya

dukung yang direncanakan lebih besar dari perencanaan, maka perencanaan sudah memadai.

Walaupun sudah menggunakan pondasi tiang, namun tidak jarang ditemui struktur bangunan atas yang bermasalah, antara lain: bangunan miring, retak struktur, dan penurunan berlebih seperti diilustrasikan oleh Gambar 1. Hal ini mengindikasikan perilaku tiang dibawah beban aksial merupakan hal yang kompleks bukan hanya masalah daya dukung saja. Spesifikasi pondasi tiang biasanya menyatakan bahwa d lapangan daya dukung aksial disain pondasi tiang diverifikasi dengan melakukan pengujian beban statis (SLT). Spesifikasi pengujian beban statis menyebutkan penurunan ijin pada 200% beban aksial disain 10-15% dari diameter tiang (ASTM, 1994)

Perilaku pondasi tiang dibawah beban aksial dapat dianalisis dengan metode elastisitas. Walaupun metode relatif jarang

digunakan, tapi metode elastisitas ini cukup praktis untuk digunakan dilapangan. Selain dengan metode elastisitas, perencanaan tiang juga dapat dianalisis dengan metode elemen hingga untuk memberikan hasil yang lebih kompleks.



Gambar 1 Contoh penurunan tidak seragam

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Metode Teori Dasar Elastisitas untuk Analisis Tiang Tunggal Akibat Beban Akisal

Ada dua metode dasar elastisitas yang di analisis: metode (Poulos dan Davis, 1968) dan metode (Randolph dan Wroth, 1978). Metode dasar elastisitas biasanya digunakan untuk tiang dengan kondisi pembebanannya ditambah secara beraturan. Tegangan geser ( $\tau$ ) dan tegangan normal ( $\sigma$ ) bekerja pada ujung tiang. Asumsi yang digunakan berfungsi untuk menyamakan setiap bagiannya, dan hasil yang didapat sama dengan pembebanan total yang terjadi. Pt. Kesetimbangan dan kecocokan antara perpindahan tiang dan tanah yang berdekatan akan mempengaruhi setiap elemen.

Metode ini memiliki beberapa perbedaan asumsi yang dibuat berdasarkan distribusi tegangan geser sepanjang tiang. Metode ini mewakili beban titik yang bekerja terhadap sumbu axis dari setiap elemen atau seperti beban beraturan pada

penampang yang bekerja pada bagian tengah setiap elemen. Pada metode Poulos dan Davis, tegangan geser dianggap sebagai distribusi merata disekitar kulit tiang (Poulos and Davis, 1980).

Metode dasar teori elastisitas menjelaskan, analisis tiang silinder mempertimbangkan, panjang ( $L$ ) dan diameter kulit ( $d$ ). Meskipun kemungkinan dari diameter kulit ( $d$ ), dan diameter ujung tiang ( $d_b$ ) yang dipertimbangkan memiliki nilai asumsi yang berbeda dari kedua metode. Jari-jari tiang diwakili dengan  $r_o$ , dan luas potongan melintang ( $A$ ). Persamaan umum untuk indeks ( $s$ ) dipakai untuk kulit tiang dan indeks ( $b$ ) sebagai ujung tiang. Pada tanah juga dipertimbangkan ideal isotropic elastic mass seperti Modulus young ( $E$ ) dan Rasio poisson's ( $\nu$ ), parameter elastic linier tidak terpengaruh oleh keberadaan tiang. Total kedalaman dari setiap lapisan tanah, jarak antara permukaan tanah dan lapisan rigid diwakilkan dengan ( $h$ ). Modulus young dari tiang ( $E_p$ ).

Modulus geser tanah ( $G$ ) digunakan sebagai pengganti Modulus young ( $E$ ) Randolph, (1978) karena deformasi pada tanah hanya geser dan juga karna ( $G$ ) diasumsikan tidak dipengaruhi oleh cuaca yang bebannya dialirkan atau tidak dialirkan. Modulus geser dari tanah mungkin bisa didapat dari Modulus young, pada persamaan (1), salah satu dari hasil Hukum Hooke's tentang *isotropic linier elasticity*.

Persamaan (1) :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1)$$

Hasil dari metode yang digunakan seperti kelangsingan tiang,  $L/r_o$ , proporsi transfer beban ke ujung tiang,  $P_b/P_t$ , dan penurunan,  $w_t$ .

### Metode Poulos dan Davis

Metode ini, pertama kali dipekenalkan (Poulos, 1968), digunakan untuk perhitungan praktis antara proporsi beban yang mencapai dasar tiang dan penurunan total tiang. Penurunan beban

dinyatakan dengan koefisien I, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2):

$$w_t = \frac{4(1+\nu)G}{I \times G_L} \times \frac{r_0 G_L}{P_t} \quad (2)$$

Koefisien I berfungsi sebagai nilai kopresibilitas dari tiang. Jarak antara lapisan kaku dan rasio poisson dari tanah. Proporsi transfer beban pada ujung tiang,  $P_b/P_t$ , untuk tiang apung dapat dihitung dengan Untuk pondasi tiang rakit bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (3) (Poulos, 1972):

$$\frac{P_b}{P_t} = \beta_0 C_K C_v \quad (3)$$

Persamaan ini hanya bisa digunakan pada tanah pada lapisan yang berbeda tapi dengan Modulus young tanah yang tidak banyak perbedaan. Kaitan yang diperoleh untuk jenis tanah yang tidak seragam salah satunya adalah variasi nilai modulus geser yang linier terhadap kedalaman. Untuk mengukur variasi faktor ketidak seragaman tanah digunakan istilah,  $\rho$ ; dihitung menggunakan persamaan (4).

$$\rho = \frac{G_{L/2}}{G_L} \quad (4)$$

### Metode Randolph dan Wroth

Metode ini pertama kali diperkenalkan (Randolph, 1978) dan telah dikembangkan untuk menjelaskan proses transfer beban aksial antara tiang dan tanah. Hal ini sangat berguna dalam kasus-kasus dimana kondisi tanah non-homogen, karena metode yang dikembangkan sebelumnya, metode Poulos dan Davis, memiliki keterbatasan yang besar dalam aspek itu.

Awalnya, perilaku kulit dan dasar tiang dipelajari secara terpisah. Sebuah bidang horizontal imajiner AB pada kedalaman dasar tiang memisahkan dasar dan kulit. Dengan demikian, dianggap bahwa di atas bidang tanah deformasi dipengaruhi kulit tiang saja, dan di bawah bidang tanah deformasi karena ujung tiang saja. Deformasi diatas dan di bawah bidang tidak sama sehingga mengakibatkan interaksi antara lapisan atas dan bawah tanah.

Selain itu, (Randolph, 1978) hubungan kekakuan antara tanah dan tiang,  $\lambda$ , dihitung melalui persamaan (4):

$$\lambda = \frac{E_p}{G_L} \quad (4)$$

Menurut (Fleming, 1992), persamaan (5) dapat digunakan sebagai aturan umum untuk menentukan apakah tiang ini dapat dianggap sebagai kaku:

$$\frac{L}{r_0} < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E_p}{G_L}} \quad (5)$$

Metode ini dapat menghitung keseragaman tanah secara vertikal menggunakan persamaan (5).

$\eta$  adalah faktor interaksi antara lapisan atas dan bawah tanah. Faktor  $\eta$  mengacu pada efek kekakuan tanah di atas area pembebanan (Randolph, 1978).

Tabel 1 dan 2 menunjukkan persamaan dari nilai penurunan dan proporsi transfer beban kedaras tiang dan tipe tanah

Tabel 1 Persamaan penurunan untuk tiang dan tipe tanah yang berbeda

Tipe Tiang	Tipe Tanah	Penurunan tiang
Kaku	Homogen ( $\rho = 1$ )	$w_t = \left[ \frac{4}{\eta(1-\nu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right] \times \frac{Gr_o}{P_t}$
	Tidak Homogen ( $\rho \neq 1$ )	$w_t = \left[ \frac{4}{\eta(1-\nu)} + \frac{2\pi L \rho}{\zeta r_o} \right] \times \frac{Gr_o}{P_t}$
Kompresibel	Homogen ( $\rho = 1$ )	$w_t = \left[ \frac{4}{\eta(1-\nu)} + \frac{2\pi L \tanh(\mu L)}{\zeta r_o \mu L} \right] \left[ 1 + \frac{4L \tanh(\mu L)}{\eta(1-\nu)\pi \lambda r_o \mu L} \right]^{-1} \times \left( \frac{Gr_o}{P_t} \right)$
	Tidak Homogen ( $\rho \neq 1$ )	$w_t = \left[ \frac{4}{\eta(1-\nu)} + \frac{2\pi L \tanh(\mu L) \rho}{\zeta r_o \mu L} \right] \left[ 1 + \frac{4L \tanh(\mu L)}{\eta(1-\nu)\pi \lambda r_o \mu L} \right]^{-1} \times \frac{Gr_o}{P_t}$

Tabel 2 Persamaan proporsi transfer beban untuk tiang dan tipe tanah yang berbeda

Tipe Tiang	Tipe Tanah	Penurunan tiang
Kaku	Homogen ( $\rho = 1$ )	$\frac{P_b}{P_t} = \frac{1}{1 + \frac{P_s}{P_b}} = \left[ 1 + \frac{\pi(1-\nu)L\eta}{2\zeta r_o} \right]^{-1}$
	Tidak Homogen ( $\rho \neq 1$ )	$\frac{P_b}{P_t} = \frac{1}{1 + \frac{P_s}{P_b}} = \left[ 1 + \frac{\pi(1-\nu)L\eta\rho}{2\zeta r_o} \right]^{-1}$
Kompresibel	Homogen ( $\rho = 1$ )	$\frac{P_b}{P_t} = \left[ \cosh(\mu L) + \frac{\pi(1-\nu)L\eta \sinh(\mu L)}{2\zeta \mu L r_o} \right]^{-1}$
	Tidak Homogen ( $\rho \neq 1$ )	$\frac{P_b}{P_t} = \left[ \cosh(\mu L) + \frac{\pi(1-\nu)L\eta \sinh(\mu L) \rho}{2\zeta \mu L r_o} \right]^{-1}$

### Static Loading Test (SLT)

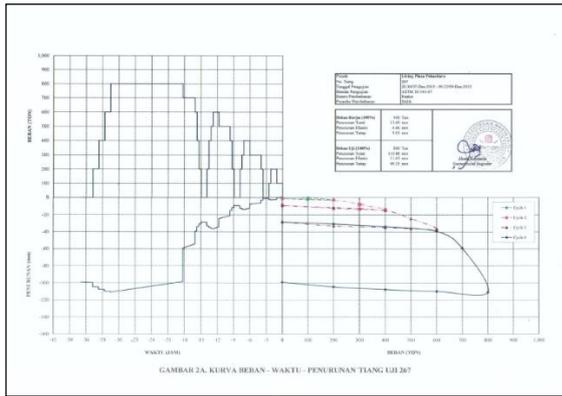
Pengujian pembebanan dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara beban dengan penurunan pondasi akibat pembebanan (beban rencana, beban testing, dan penurunan tetap setelah beban dipindahkan). Besar daya dukung tiang tekan hidrolis berdasarkan hasil uji pembebanan dapat diketahui langsung pada saat pengujian beban

Gambar 2 menunjukkan proses pengujian pembebanan tiang dilapangan yang dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Living Wolrd Plaza.



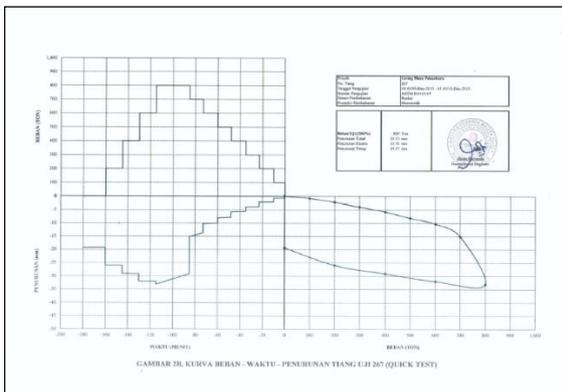
Gambar 2 Pengujian beban statis (SLT)  
Sumber: PT. Trimatra Jaya Persada (2016)

Hasil yang didapat dari pengujian pembebanan Slow Maintaned Load Test Method (SM Test) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil pengujian Slow Maintaned Load Test Method (SM Test)  
 Sumber: PT. Trimatra Jaya Persada (2016)

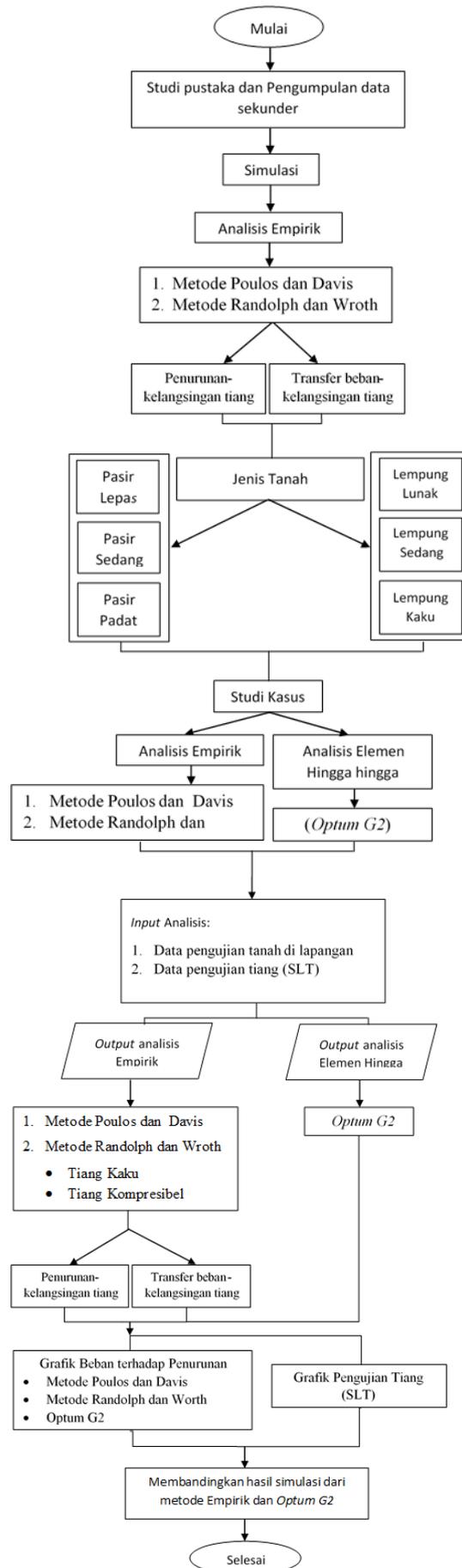
Hasil dari pengujian Quick Maintaned Load Test Method (QM Test) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil pengujian Quick Maintaned Load Test Method (QM Test)  
 Sumber: PT. Trimatra Jaya Persada (2016)

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini berisi langkah-langkah jalannya penelitian yang berawal dari studi literatur, pengumpulan data hasil Standard Penetration Test (SPT) dan laporan Static Loading Test (SLT), dan pemasangan perangkat Optum G2 di komputer. Tahap-tahap penelitian secara umum akan diberikan pada diagram alir penelitian.



## Parameter Optum G2 dan Pembebanan Tiang

Parameter tanah dan data pengujian tiang di dapat dari data sekunder yang telah dikumpulkan. Parameter tanah dan data pengujian tiang ini digunakan untuk melakukan pemodelan dari tiang dengan menggunakan Optum G2 dan Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth sehingga dapat dihasilkan perbandingan dari setiap metode yang digunakan.

Parameter tanah yang digunakan untuk pemodelan dan sebagai input Optum G2 dapat dilihat pada Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1 Parameter Input Optum G2 untuk lokasi Proyek Mall – SKA.

Parameter	Simbol	Soft Clay	Medium Dense	Dense Sand	Pondasi Tiang	Satuan
Model Material	Model	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	Elastis Linier	-
Berat jenis tak jenuh	$\gamma_{unsat}$	3,50	6,25	8,35	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat jenis jenuh	$\gamma_{sat}$	13,50	16,25	18,35	24	kN/m <sup>3</sup>
Permeabilitas	k	0,0001	1	0,1	0	mm/hari
Modulus Elastisitas	E	15	85	100		Mpa
Angka Poisson	$\nu$	0,31	0,32	0,33	0,25	
Kohesi	c	27,50	1,24	0,02		kN/m <sup>2</sup>
Sudut Geser Dalam	$\phi$	2,1	44,2	48,4		°
Nilai N-SPT koreksi	$N_{lap}$ N160	6,25 8	32,77 29	49,57 40		
Ketebalan	h	10	13	7		m
Kedalaman	L	0-10	10-23	23-30		m

Tabel 2 Parameter Input Optum G2 untuk lokasi Jembatan Water Front City Kampar.

Parameter	Simbol	Lempun g Kaku	Lempun g Keras	Lempun g Keras	Pondasi Tiang	Satuan
Model Material	Model	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	Elastis Linier	-
Berat jenis tak jenuh	$\gamma_{unsat}$	6,7	10,5	11,7	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat jenis jenuh	$\gamma_{sat}$	16,70	20,50	21,70	24	kN/m <sup>3</sup>
Permeabilitas	k	0,0001	1x10 <sup>-5</sup>	1x10 <sup>-9</sup>	0	m/hari
Modulus Elastisitas	E	14	43	51		Mpa
Angka Poisson	$\nu$	0,3	0,3	0,3	0,25	
Kohesi	c	94	228	263		kN/m <sup>2</sup>
Sudut Geser Dalam	$\phi$	1,7	1,1	2,3		°
Nilai N-SPT koreksi	$N_{lap}$ N160	27 28	52 53	60 60		
Ketebalan	h	11	10	9		m
Kedalaman	L	0-11	11-21	21-30		m

Tabel 3 Parameter Input Optum G2 untuk lokasi Proyek Living World Plaza.

Parameter	Simbol	Lempung Sedang	Pasir Padat	Pasir Padat	Pondasi Tiang	Satuan
Model Material	Model	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	Elastis Linier	-
Berat jenis tak jenuh	$\gamma_{unsat}$	6,2	0,9	12,1	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat jenis jenuh	$\gamma_{sat}$	16,20	10,90	22,10	24	kN/m <sup>3</sup>
Permeabilitas	k	0,0001	1	0,1	0	m/hari
Modulus Elastisitas	E	11	59	87		Mpa
Angka Poisson	$\nu$	0,3	0,34	0,35	0,25	
Kohesi	c	51,00	1,45	0,60		kN/m <sup>2</sup>
Sudut Geser Dalam	$\phi$	1,9	35,6	40,6		°
Nilai N-SPT koreksi	$N_{lap}$ N160	8,50 7	14,85 14	49,79 22		
Ketebalan	h	9	13	8		m
Kedalaman	L	0-9	9-22	22-30		m

Data pembebanan tiang Proyek Mall – SKA, Jembatan Water Front Kampar, dan Living World Plaza yang didapat bisa dilihat pada Tabel 4, 5, dan 6

Tabel 4 Data pembebanan tiang untuk lokasi Mall – SKA.

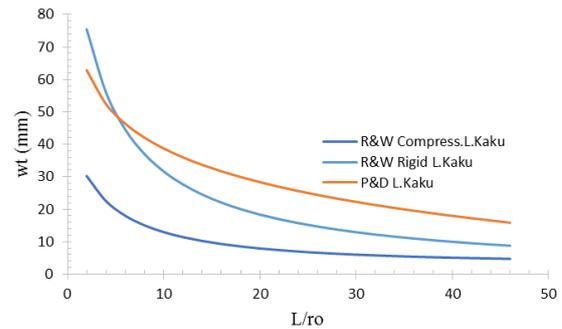
SLT			
Beban rencana =	100	ton	
SKA Mall			
Load			
Load (%)	(ton)	Settlement (mm)	
0	0	0	0,01
50	0,5	50	1,89
100	1	100	4,28
150	1,5	150	7,50
175	1,75	175	13,07
190	1,9	190	50,15

Tabel 5 Data pembebanan tiang untuk lokasi Jembatan Water Front Kampar.

SLT			
Beban rencana =	200	ton	
J. Kampar			
Load			
Load (%)	(ton)	Settlement (mm)	
0	0	0	0,0
50	0,5	100	3,5
100	1	200	4,2
150	1,5	300	5,5
175	1,75	350	6,0
200	2	400	7,5

Tabel 6 Data pembebanan tiang untuk lokasi Proyek Living World Plaza.

SLT			
Beban rencana =		400	ton
Living World Plaza			
Load (%)		Load (ton)	Settlement (mm)
0	0	0	0
25	0,25	100	0,84
50	0,5	200	2,23
75	0,75	300	3,88
100	1	400	5,70
125	1,25	500	7,95
150	1,5	600	10,14
175	1,75	700	14,43
200	2	800	31,21



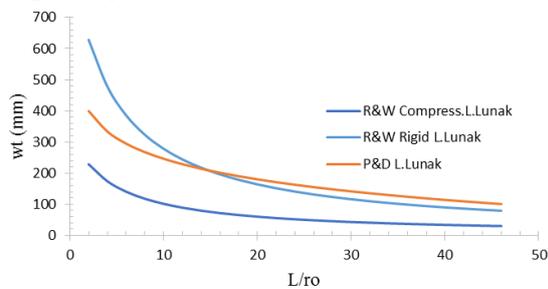
(c)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 990,1$

Gambar 5 Penurunan terhadap rasio kelangsingan tiang dengan faktor ketidaksamaan pada tanah, (a) lempung lunak,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 9439,1$ , (b) lempung sedang,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 3031,9$ , (c) lempung kaku,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 990,1$

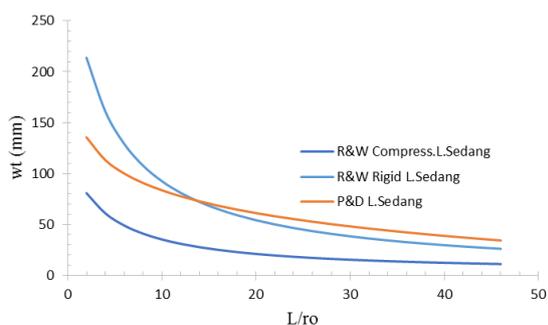
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Penurunan terhadap rasio kelangsingan tiang pada tanah lempung dengan Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth

Gambar 5 menunjukkan nilai penurunan terhadap kelangsingan tiang pada tanah lempung dengan menggunakan metode Poulos dan Davis, Randolph dan Worth untuk tiang rigid dan Randolph dan Worth untuk tiang kompresibel.



(a)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 9439,1$

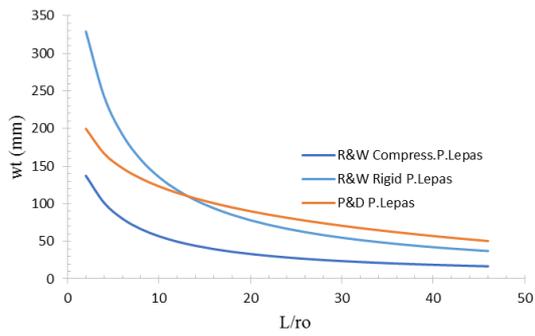


(b)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 3031,9$

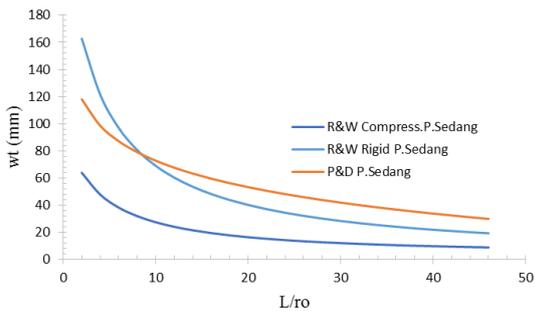
Penurunan terhadap kelangsingan tiang diatas untuk tanah lempung dapat dilihat bahwa penurunan yang di hasilkan dari Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth mengalami perbedaan. Gambar 5 menyimpulkan bahwa untuk Metode Randolph dan Wroth lapisan tanah lempung lunak akan mengalami rasio grafik penurunan konstan yang cenderung linier, sedangkan pada lapisan tanah lempung medium dan kaku akan mengalami penurunan yang non linier dan mendekati konstan. Sedangkan hasil yang diperoleh untuk metode Poulos dan Davis setiap jenis tanah akan mengalami penurunan beban secara non linier, akan tetapi nilai penurunan beban akan semakin besar

##### Penurunan terhadap rasio kelangsingan tiang pada tanah pasir dengan Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth

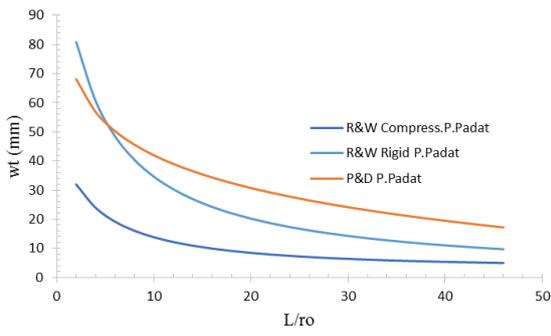
Gambar 6 menunjukkan nilai penurunan terhadap kelangsingan tiang pada tanah pasir dengan menggunakan metode Poulos dan Davis, Randolph dan Worth untuk tiang rigid dan Randolph dan Worth untuk tiang kompresibel.



(a)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 4118,9$



(b)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 2188,2$



(c)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 1115,5$

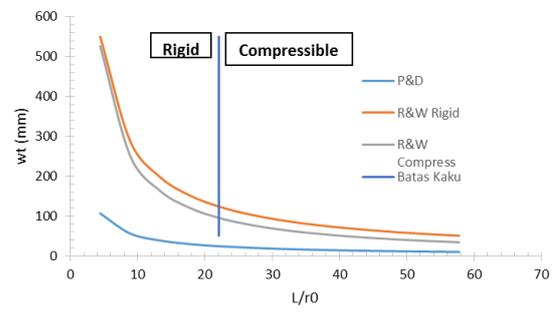
Gambar 6 Penurunan terhadap rasio kelangsingan tiang dengan faktor ketidakseragaman pada tanah, (a) pasir lepas,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 4118,9$ , (b) pasir sedang,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 2188,2$ , (c) pasir padat,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 1115,5$

Penurunan beban terhadap kelangsingan diatas untuk tanah pasir diperoleh juga nilai penurunan yang berbeda untuk Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth. Gambar 6 menjelaskan bahwa untuk Metode Randolph dan Wroth lapisan tanah pasir lepas akan mengalami rasio grafik penurunan konstan yang cenderung linier pada saat nilai  $L/ro < 25$  dan mulai konstan saat nilai  $L/ro > 25$ , hal ini bisa jadi disebabkan oleh kepadatan yang

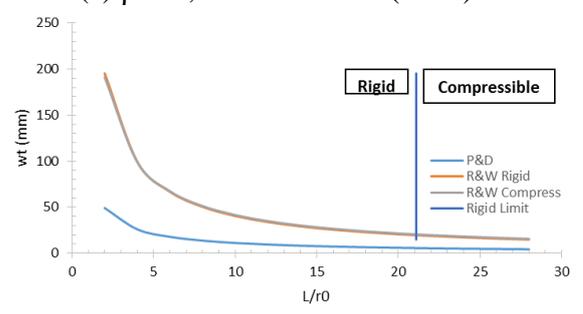
timbul dari tanah pasir pada saat pondasi tiang semakin dalam, sedangkan pada lapisan tanah pasir medium dan padat penurunan beban lebih cepat mendekati konstan dengan nilai  $L/ro = 17$  untuk tanah pasir medium dan  $L/ro = 13$  untuk pasir padat. Sedangkan hasil yang diperoleh untuk metode Poulos dan Davis setiap jenis tanah akan mengalami penurunan beban secara non linier, tetapi nilai rasio kelangsingan yang dihasilkan tetap. Dimana nilai  $L/ro = 12$  untuk Metode Poulos dan Davis

**Perbandingan penurunan terhadap rasio kelangsingan tiang Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth pada studi kasus**

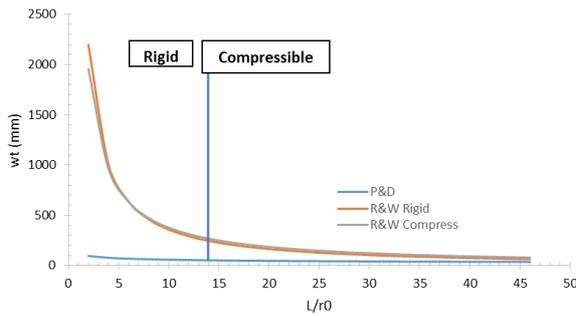
Perbandingan antara metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth pada tiang kaku dan kompresibel pada proyek Mall SKA, Jembatan Water Front City Kampar, dan Living World Plaza ditunjukkan oleh Gambar 7.



(a)  $\rho = 0,16$  dan  $\lambda = 940$  (SKA)



(b)  $\rho = 0,33$  dan  $\lambda = 1780$  (Jembatan Kampar)



(c)  $\rho = 0,75$  dan  $\lambda = 776$  (Living Plaza)

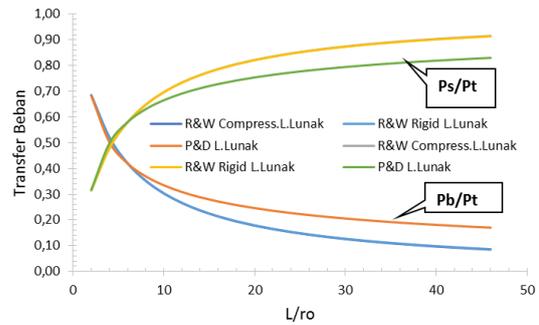
Gambar 7 Penurunan beban terhadap rasio kelangsingan tiang untuk tiang kompresibel, faktor ketidakteraturan, (a)  $\rho = 0,16$  dan  $\lambda = 940$  (SKA); (b)  $\rho = 0,33$  dan  $\lambda = 1780$  (Jembatan Kampar); (c)  $\rho = 0,75$  dan  $\lambda = 776$  (Living Plaza).

Hasil yang diberikan oleh Gambar 7 didapat dari data tanah dan tiang Proyek Mall-SKA, Jembatan Water Front Kampar, dan Living World Plaza. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai penurunan yang diberikan oleh metode Randolph dan Wroth antara rigid dan kompresibel sedikit berbeda. Nilai penurunan tiang kompresibel sedikit lebih rendah dari tiang rigid dan membentuk grafik non-linier yang hampir mirip dengan tiang rigid. Batas kaku,  $\frac{L}{r_0} < \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{E_P}{G_L}} \right)$ , dari setiap kasus mempengaruhi nilai penurunan pada tiang. Nilai penurunan lebih kecil dari batas kaku  $\frac{L}{r_0} < \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{E_P}{G_L}} \right)$  mengakibatkan penurunan yang signifikan terhadap kelangsingan tiang,  $L/r_0$ . Ini mengindikasikan bahwa batas kaku membantu dalam memprediksi penurunan tiang. Metode Poulos dan Davis lebih rendah dari pada metode lainnya. Dari gambar 2 dapat kita pastikan bahwa nilai penurunan terhadap kelangsingan menggunakan Metode Poulos dan Davis lebih kecil dibandingkan metode lainnya.

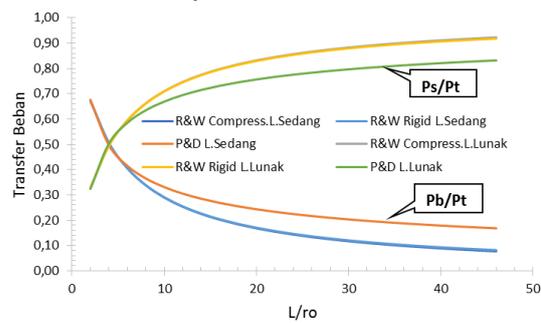
### Proporsi beban terhadap rasio kelangsingan tiang pada tanah lempung

### dengan Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth

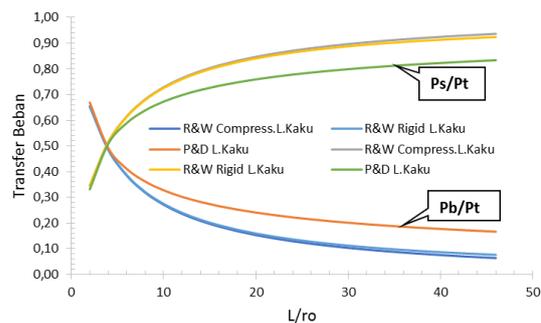
Gambar 8 menunjukkan nilai proporsi beban pada kulit dan dasar tiang untuk jenis tanah lempung lunak, lempung sedang, dan lempung kaku.



(a)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 9439,1$



(b)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 3031,9$



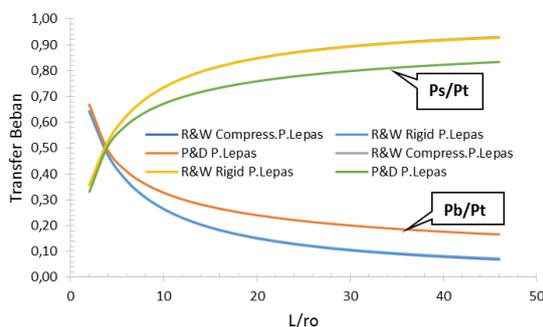
(c)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 990,1$

Gambar 8 Proporsi beban terhadap rasio kelangsingan tiang dengan faktor ketidakteraturan pada tanah, (a) lempung lunak,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 9439,1$ , (b) lempung sedang,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 3031,9$ , (c) lempung kaku,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 990,1$

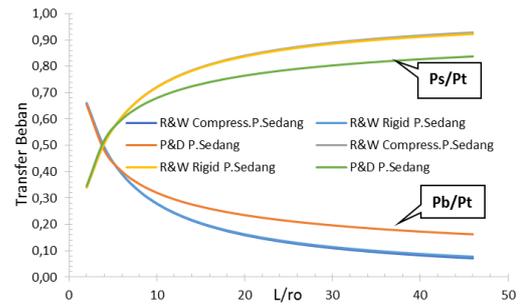
Proporsi beban yang dihasilkan memberikan bentuk grafik yang sama untuk setiap lapisan tanah. Dimana grafik yang dihasilkan membentuk garis non linier dan semakin konstan. Hasil ini ditunjukkan dari Gambar 8. akan tetapi untuk nilai nilai proporsi beban yang diberikan antara Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth memberikan nilai yang berbeda. Gambar 8 menjelaskan bahwa untuk Metode Randolph dan Wroth secara bertahap beban yang telah ditrasnfer ke kulit tiang mengakibatkan penurunan nilai nilai transfer beban ke ujung tiang dan terjadinya peningkatan nilai transfer beban ke kulit tiang diakibatkan karna untuk nilai  $L/ro$  yang semakin besar. Untuk Metode Poulos dan Davis memberikan bentuk grafik hampir sama dengan Metode Randolph and Wroth akan tetapi nilai transfer beban dikulit lebih kecil dan nilai ujung tiang yang diberikan lebih besar dari Metode Randolph dan Wroth.

### Proporsi beban terhadap rasio kelangsingan tiang pada tanah pasir dengan Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth

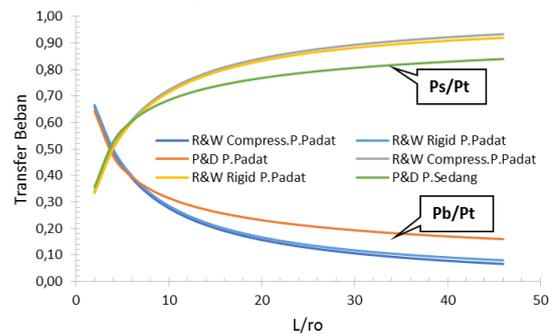
Gambar 9 secara berturut-turut menjelaskan nilai proporsi beban pada kulit dan dasar tiang untuk jenis tanah pasir lepas, pasir sedang, dan pasir padat.



(a)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 4118,9$



(b)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 2188,2$



(c)  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 1115,5$

Gambar 9 Proporsi beban terhadap rasio kelangsingan tiang dengan faktor ketidakteraturan pada tanah, (a) pasir lepas,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 4118,9$

, (b) pasir sedang,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 2188,2$

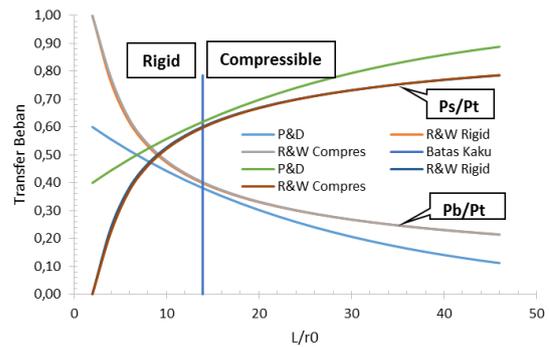
, (c) pasir padat,  $\rho = 1$ , dan  $\lambda = 1115,5$

Proporsi beban yang dihasilkan memberikan bentuk grafik yang sama untuk setiap lapisan tanah. Dimana grafik yang dihasilkan membentuk garis non linier dan semakin konstan. Hasil ini ditunjukkan dari Gambar 9. akan tetapi untuk nilai nilai proporsi beban yang diberikan antara Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth memberikan nilai yang berbeda. Gambar 8 menjelaskan bahwa untuk Metode Randolph dan Wroth secara bertahap beban yang telah ditrasnfer ke kulit tiang mengakibatkan penurunan nilai nilai transfer beban ke ujung tiang dan terjadinya peningkatan nilai transfer beban ke kulit tiang diakibatkan karna untuk nilai  $L/ro$  yang semakin besar. Untuk Metode Poulos dan Davis memberikan bentuk grafik hampir sama dengan Metode Randolph and Wroth akan tetapi nilai transfer beban dikulit lebih kecil dan nilai ujung tiang yang diberikan

lebih besar dari Metode Randolph dan Wroth.

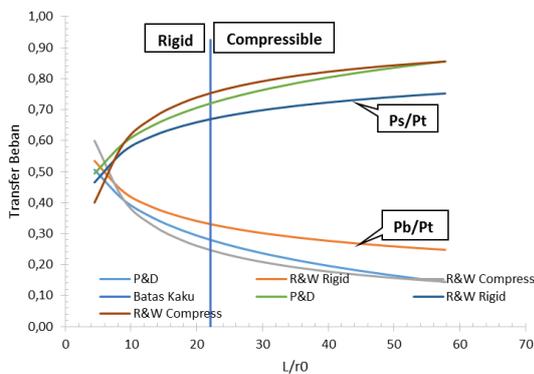
**Perbandingan proporsi beban terhadap rasio kelangsingan tiang Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth pada studi kasus**

Gambar 10 menunjukkan perbandingan proporsi beban yang di transfer ke kulit dan ujung tiang dengan Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth untuk tiang kaku dan kompresibel pada proyek Mall SKA, Jembatan Water Front City Kampar, dan Living World Plaza.

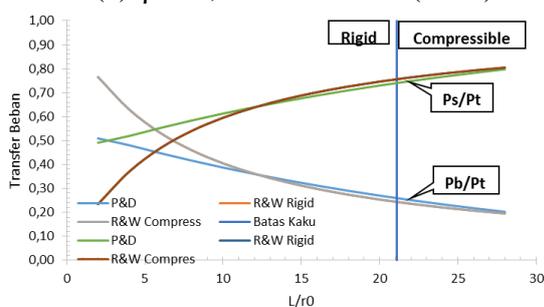


(c)  $\rho = 0,75$  dan  $\lambda = 776$  (Living Plaza)

Gambar 10 Proporsi beban yang ditahan oleh dasar dan kulit tiang terhadap rasio kelangsingan tiang untuk tiang kaku, faktor ketidak seragaman  $\rho = 0,16$  dan  $\lambda = 940$  (SKA);  $\rho = 0,33$  dan  $\lambda = 1780$  (Jembatan Kampar);  $\rho = 0,75$  dan  $\lambda = 776$  (Living Plaza)



(a)  $\rho = 0,16$  dan  $\lambda = 940$  (SKA)

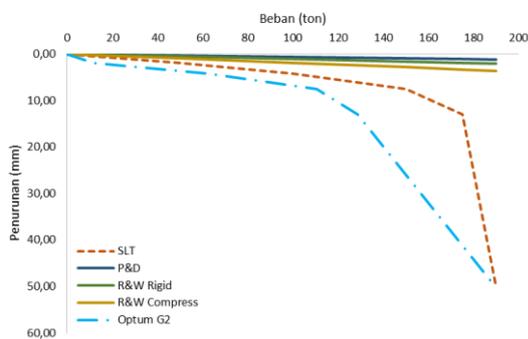


(b)  $\rho = 0,33$  dan  $\lambda = 1780$  (Jembatan Kampar)

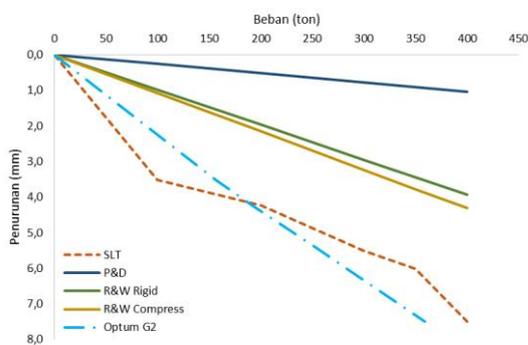
Gambar 10 menjelaskan bahwa nilai proporsi beban yang di tahan oleh kulit dan ujung tiang. Metode Randolph dan Wroth untuk tiang kaku memberikan nilai transfer beban ke kulit tiang yang lebih kecil dari pada pada tiang kompresibel. Grafik tiang kompresibel memberikan hasil yang mirip dengan Metode Poulos dan Davis. Proporsi beban di ujung tiang rigid dan kompresibel menurun terhadap kelangsingan dan semakin naik untuk kulit tiang. Grafik dari Gambar 10 menunjukkan bahwa bentuk grafik untuk setiap metode semakin linier saat nilai batas kekakuan terlewati,  $\frac{L}{r_0} < \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{E_p}{G_L}} \right)$ . Karna nilai kelangsingan tiang,  $L/r_0$ , sangat mempengaruhi nilai dari transfer beban yang bisa ditahan oleh kulit dan ujung tiang. Nilai,  $L/r_0$ , yang semakin besar membuat nilai transfer beban ke kulit tiang lebih besar dibandingkan ujung tiang.

## Membandingkan hasil Static Loading Test (SLT) dengan Metode Empirik dan Optum G2

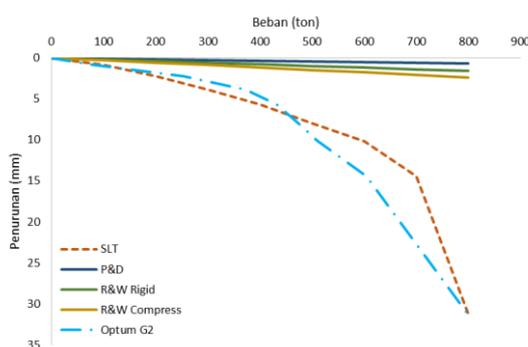
Gambar 11 dapat kita lihat hasil pembebanan di bagian atas tiang,  $P_t$ , terhadap penurunan total,  $w_t$ , yang dihasilkan dari pengujian pembebanan statis dan dari perhitungan yang dilakukan oleh Optum G2. Solusi oleh Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth juga diplot untuk memperlihatkan perbedaan analisis yang didapat



(a) Proyek Mall SKA



(b) Proyek Jembatan Water Front Kamper



(c) Proyek Living World Plaza

Gambar 11 Pembebanan di kepala tiang terhadap penurunan total dari hasil SLT, Optum G2, Poulos dan Davis, dan Randolph dan Wroth, untuk siklus pembebanan 200% (a) Proyek Mall-SKA, (b) Proyek Jembatan Water Front Kamper, dan (c) Proyek Living World Plaza

Pemberian beban 200% pada pemodelan tiang di Optum G2 menghasilkan grafik yang mendekati dengan pengujian tiang di Proyek Mall SKA. Hasil yang didapat saat beban di berikan sampai 200% = 190 ton. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 11(a) membentuk grafik yang mendekati dengan data pengujian tiang dilapangan.

Pemodelan tiang di Optum G2 yang dihasilkan dari Gambar 11(b) mendekati dengan pengujian tiang di proyek Jembatan Water Front Kamper. Hasil yang didapat saat beban di berikan sampai 200% = 350 ton. Grafik yang dihasilkan dari Optum G2 untuk kasus ini cenderung linier tapi tetap memberikan hasil yang mendekati.

Gambar 11(c) hasil pada Proyek Living World yang didapat saat beban di berikan sampai 200% = 800 ton. Optum G2 memberikan hasil yang sangat dekat dengan pengujian tiang dilapangan, sedangkan pada Metode Poulos dan Davis dan Randolph dan Wroth nilai beban juga mendekati dengan beban rencana 200% akan tetapi nilai penurunan yang dihasilkan sangat kecil.

Metode elastis hanya menganalisis nilai penurunan dengan menggunakan simplifikasi dan parameter hitungan yang tidak sekompleks metode elemen hingga, ini menyebabkan hasil yang didapat sangat berbeda dari hasil pengujian tiang dilapangan (Ribeiro, 2013).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang di dapat simulasi dan studi kasus dengan perhitungan Metode Empirik dan Elemen hingga:

1. Penurunan meningkat terhadap rasio kelangsingan tiang sedangkan proporsi beban ditransfer ke dasar tiang berkurang.
2. Faktor kekakuan antara tanah-tiang memiliki pengaruh lebih besar terhadap penurunan dari pada proporsi beban yang ditransfer ke dasar tiang.
3. Metode Randolph dan Wroth memberikan hasil yang mendekati dengan hasil yang diberikan oleh perangkat lunak Optum G2, ini menunjukkan untuk menganalisis perilaku tiang kompresibel dapat dengan menggunakan Metode Randolph dan Wroth untuk perhitungan praktis.
4. Metode Poulos dan Davis memberikan hasil yang cukup baik untuk kondisi tanah yang homogen, tapi untuk tanah yang non homogen metode ini memberikan hasil yang kurang akurat dan tidak konstan.
5. Hasil yang diberikan oleh Optum G2 sangat sensitif untuk kondisi tanah yang non homogen dari pada menggunakan Metode Empirik. Salah satu faktor yang membuat hasil dari perhitungan empirik tidak terlalu akurat karena perhitungannya masih cukup sederhana, terutama Metode Poulos dan Davis.
6. Hasil perbandingan untuk grafik beban versus penurunan dari pengujian beban statis (SLT) dan Optum G2 memberikan nilai yang cukup mendekati. Hasil yang diberikan dari Metode Empirik memberikan hasil beban versus penurunan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan, sehingga hasil yang didapat dari Optum G2 memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan Metode Empirik.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat dilakukan:

1. Penelitian selanjutnya bisa dengan menggunakan data pengujian tanah di laboratorium agar mendapatkan parameter tanah yang lebih lengkap dan akurat.
2. Penelitian selanjutnya bisa dengan menggunakan pemodelan keruntuhan *Hardening Soil Model* dan lainnya untuk mendapatkan hasil pemodelan tanah yang berbeda.

### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (1994). *Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load* (D 1143-81 ed.).
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics dan Foundation* (3rd Edition). United State of America: John Wiley & Son, Inc. Retrieved from
- Donald P Coduto. (1999). *Geotechnical Engineering: Principles dan Practices.pdf*.
- Hardiyatmo, H. (1996). *Teknik Pondasi 1*. Jakarta, Indonesia: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. (2002). *Teknik Pondasi 2* (Kedua ed.). Yogyakarta: Beta Offset.
- Kulhawy dan Mayne. (1990). *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*. Retrieved from
- OptumG2. (2014a). Features.
- OptumG2. (2014b). Optum computational engineering.
- Persada, P. T. (2017). *Statik Aksial Tekan Proyek Living Plaza Pekanbaru 267*. Pekanbaru.

- Poulos. (1968). *The Settlement Behavior of Single Axially-Loaded Incompressible Piles and Piers* (Vol. 18). Geotechnique.
- Poulos. (1972). *Load-Settlement Prediction For Pile and Piers*. JSMFD ASCE.
- Poulos and Davis. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. New York: Wiley and Sons.
- Randolph. (1978). *Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles*. JGED, ASCE 104(GT12).
- Sosarodarsono, S. d. (1983). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wesley, L. D. (1977). *Mekanika tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.