

Evaluasi Deformasi dan Stabilitas Struktur Tiang Pelat (*Pile Slab*) di Atas Tanah Gambut (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Pematang Panggang - Kayu Agung, Provinsi Sumatera Selatan)

MISBAHUL MUNIR, YUKI ACHMAD YAKIN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: munirgeskey102@gmail.com

ABSTRAK

Evaluasi deformasi dan stabilitas struktur pile slab diterapkan dalam studi kasus yang dilakukan pada ruas jalan Tol Pematang Panggang - Kayu Agung, Sumatera Selatan. Analisis kapasitas daya dukung aksial dan penurunan dilakukan dengan menggunakan metode Mayerhof, metode Poulos, dan program PLAXIS 2D 2017. Analisis menggunakan metode Meyerhof diperoleh kapasitas daya dukung tiang tunggal sebesar 617,591 ton, kelompok tiang sebesar 6.1759,1 ton, sedangkan untuk Penurunan menggunakan metode Poulos diperoleh interaksi ujung sebesar 0,0232 m, interaksi gesek sebesar 0,0567 m, dari PLAXIS 2D diperoleh daya dukung sebesar 7.078,83 ton dengan penurunan sebesar 0 m. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai daya dukung dan penurunan kelompok tiang, baik hasil perhitungan metode empirik maupun numerik menunjukkan bahwa struktur pile slab dalam penelitian ini aman terhadap deformasi dan gangguan stabilitas.

Kata kunci: *penurunan, kapasitas daya dukung, PLAXIS 2D*

ABSTRACT

A case study to evaluate the deformation and stability of pile slab structure was conducted on Pematang Panggang - Kayu Agung Highway Project in South Sumatera. Using Mayerhof method, Poulos method, and PLAXIS 2D 2017 program to analyze the axial bearing capacity and settlement of the structure. Resulted a single pile bearing capacity value of 617.591 tons, group pile bearing capacity value of 6,175.91 tons, with settlement interaction value of 0.0232 m, settlement frictional interaction value of 0.0567 m using the Poulos method, and bearing capacity value of 7,213.3 tons with settlement value of 0 m using PLAXIS 2D software. As a result bearing capacity and settlement pile grup, the use of both numerical and empirical method show that pile slab structure in this research is safe from instability and deformation.

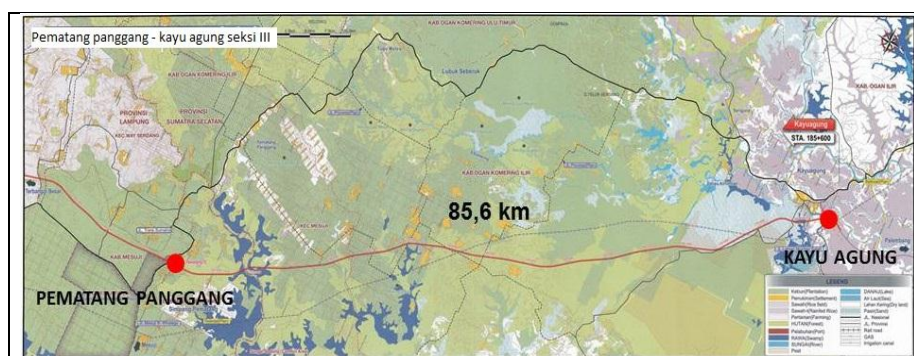
Keywords: *settlement, bearing capacity, PLAXIS 2D*

1. PENDAHULUAN

Tanah gambut merupakan tanah yang mempunyai kandungan organik sangat tinggi, kuat geser rendah, daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, besarnya penurunan sekunder, dan muka air tanah tinggi. Berbagai solusi yang dapat dilakukan agar struktur dapat dibangun di atas tanah gambut salah satu solusinya adalah dengan menggunakan fondasi *pile slab*.

Pile slab merupakan salah satu solusi untuk mengatasi masalah daya dukung dan penurunan pada ruas jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung, Provinsi Sumatera Selatan. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan evaluasi deformasi dan stabilitas *pile slab* di atas tanah gambut.

Manfaat kegiatan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi tentang sejauh mana efektivitas perbaikan tanah dengan struktur *pile slab* di atas tanah gambut. Peta lokasi studi kasus ruas jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung, Provinsi Sumatera Selatan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta lokasi studi kasus ruas jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung, Provinsi Sumatera Selatan (Priyanto, E., 2016)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Gambut

Tanah gambut merupakan tanah yang mempunyai kandungan organik sangat tinggi. Menurut Mc. Farlane (1969) dalam Santosa (2005) tanah gambut terbagi menjadi 2 jenis yaitu berserat (*fibrous peat*) dengan kandungan serat 20% atau lebih. Mempunyai dua jenis pori yaitu makropori dan mikropori serta tidak berserat (*amorphous peat*) dengan kandungan <20%. Jenis gambut ini terdiri dari butiran dan ukuran koloidal (2μ) dan bagian besar air porinya terserap di sekeliling permukaan butiran. Tanah gambut secara umum mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah.
2. Daya dukung rendah.
3. Kompresibilitas yang besar.
4. Muka air tanah tinggi.
5. Penurunan besar (*secondary consolidation*).

2.2 Struktur Pile Slab

Fondasi pile slab merupakan struktur fondasi yang ditumpu oleh sistem kelompok tiang pancang dan diikat oleh *pile cap* yang digunakan untuk menahan dan meneruskan beban dari struktur atas ke dalam tanah yang mempunyai daya dukung untuk menahannya. Penggunaan fondasi *pile slab* merupakan perkuatan pada tanah yang mempunyai daya dukung rendah seperti pada tanah gambut.

2.3 Daya Dukung Tiang (Metode Meyerhof)

Daya dukung aksial fondasi tiang pancang dengan cara statik dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut:

2.3.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Daya dukung ultimit fondasi tiang (Q_u) diperoleh dari gabungan daya dukung tahanan ujung (Q_p) dan daya dukung tahanan gesek (Q_s) dapat dihitung dengan **Persamaan 1** (Das, B. M., 1985).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad \dots(1)$$

dimana:

Q_u = daya dukung ultimit [ton],
 Q_p = daya dukung ujung [ton],
 Q_s = daya dukung gesek [ton].

1) Daya dukung ujung

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ujung tanah pasir, untuk faktor daya dukung tahanan ujung N_c^* dan N_q^* dapat dilihat pada **Gambar 2** dengan menggunakan **Persamaan 2** (Das, B. M., 1985).

$$Q_p = A_p * q_p = A_p * q' * N_q^* \quad \dots(2)$$

dimana:

A_p = luas penampang tiang [m^2],
 q' = tegangan vertikal efektif [ton/m^2],
 N_q^* = faktor daya dukung ujung.

2) Daya dukung selimut

a. Untuk tanah lempung

Kapasitas daya dukung tahanan selimut tiang pada tanah lempung dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3** (Das, B. M., 1985).

$$Q_s = \sum P * a * C_u * \Delta L \quad \dots(3)$$

b. Untuk tanah pasir

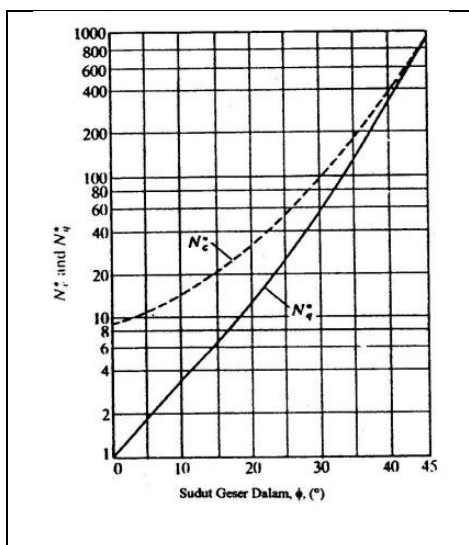
Daya dukung dari tahanan selimut selimut tiang pada tanah pasir dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 4** (Das, B. M., 1985).

$$Q_s = f_{av} * P * \Delta L \quad \dots(4)$$

dimana:

P = keliling tiang [m],
 C_u = kohesi tak teralir [ton/m^2],

- a = faktor adhesi,
- ΔL = panjang segmen tiang [m],
- f_{av} = tahanan gesek setiap kedalaman z [ton/m²].



Gambar 2. Faktor daya dukung tahanan ujung N_c^* dan N_q^* (Mayerhof, 1975 dalam Rahardjo, P. P., 2013)

2.3.2 Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Pada fondasi tiang pancang, tahanan gesek maupun tahanan ujung dengan $s \geq 3d$, maka kapasitas dukung kelompok tiang diambil sama besarnya dengan jumlah kapasitas dukung tiang tunggal $E_g = 1$. Dengan memakai **Persamaan 5** (Das, B. M., 1985).

$$Q_g = n * Q_a \tag{5}$$

Sedangkan pada fondasi tiang pancang, tahanan gesek dengan $s < 3d$ maka faktor efisiensi ikut menentukan **Persamaan 6** (Das, B. M., 1985).

$$Q_g = n * Q_a * E_g \tag{6}$$

dimana:

- Q_g = beban maksimum kelompok tiang [ton],
- n = jumlah tiang dalam kelompok,
- Q_a = kapasitas dukung izin tiang [ton],
- E_g = efisiensi kelompok tiang.

2.4 Analisa Penurunan Kelompok Berdasarkan Interaksi Tiang (Metode Poulos)

Penurunan pada fondasi kelompok tiang dapat dihitung dengan memperhitungkan interaksi antar tiang dengan menggunakan **Persamaan 7** (Rahardjo, P. P., 2013).

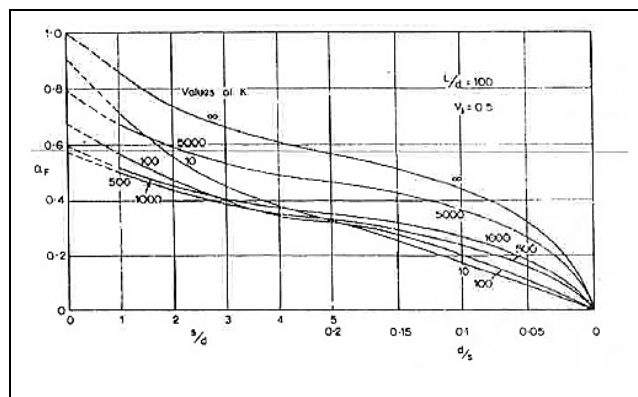
$$S_i = X_i * \sum(P_j * a_{ij}) + X_1 * P_i \tag{7}$$

dimana:

- S_i = penurunan tiang ke- i akibat pengaruh tiang – tiang yang lain [mm],
- X_i = besar penurunan satu tiang pada beban satu satuan [ton/mm],
- P_i = beban pada tiang ke- i [ton],
- P_j = beban pada tiang ke- j [ton],
- a_{ij} = faktor interaksi untuk jarak antara tiang ke- i dan tiang ke- j .

2.4.1 Faktor Interaksi Gesek (a_F)

Faktor interaksi ini berlaku untuk tiang kelompok yang mempunyai diameter seragam. Poulos and Mattes (1971) menyatakan (a_F) pada **Gambar 3**. sebagai fungsi dari s/D , L/D , dan K . Dimana K adalah perbandingan antara modulus elastisitas tiang dengan modulus elastisitas tanah.



**Gambar 3. Faktor interaksi untuk tiang gesek $L/D=100$
(Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013)**

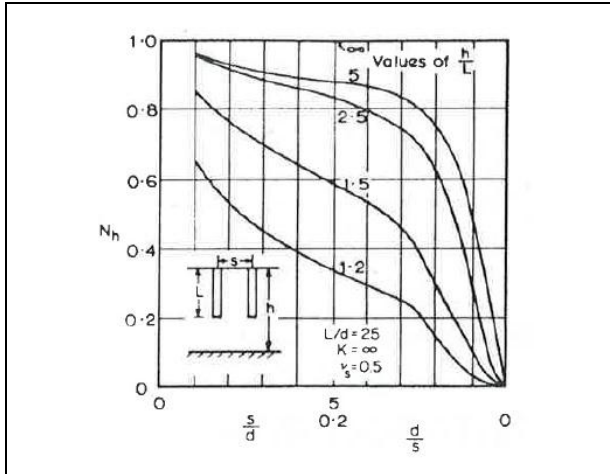
Beberapa faktor koreksi N_h , N_{db} , N_v , dan N_m dapat ditunjukkan pada **Gambar 4 sampai dengan Gambar 7**. Faktor interaksi (a) dinyatakan dengan **Persamaan 8** (Rahardjo, P. P., 2013).

$$a = a_F * N_h * N_{db} * N_v * N_m * N_s$$

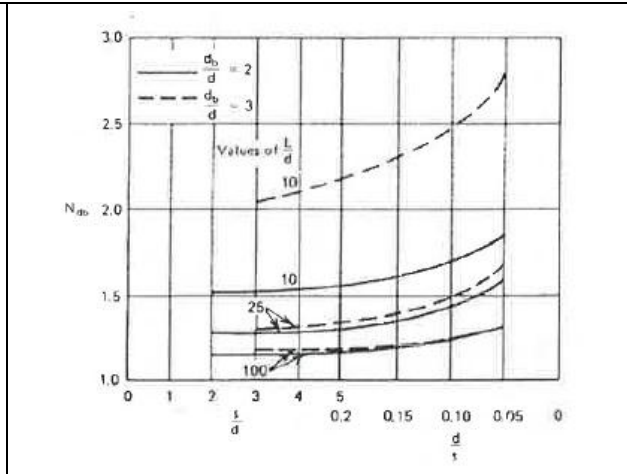
....(8)

dimana:

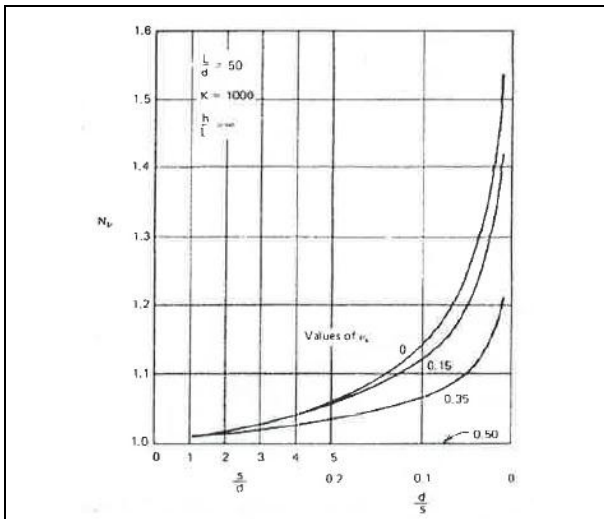
- N_h = faktor koreksi letak tanah keras,
- N_{db} = faktor koreksi terhadap pembesaran kaki tiang,
- N_v = faktor koreksi terhadap angka Poisson,
- N_m = faktor koreksi modulus elastisitas tanah,
- N_s = faktor koreksi gelincir.



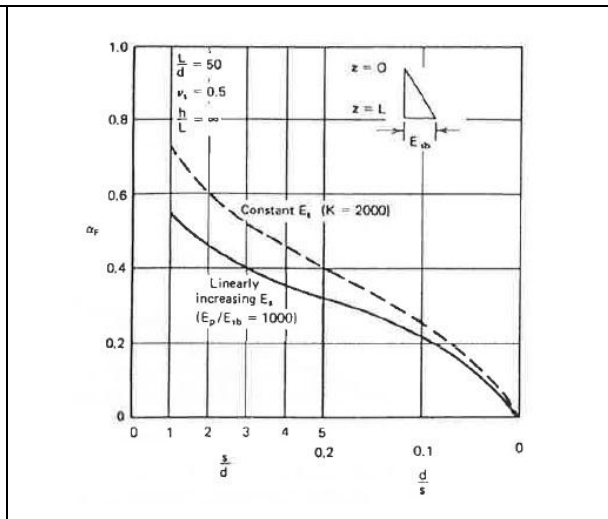
Gambar 4. Faktor koreksi letak tanah keras, N_h (Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013)



Gambar 5. Faktor koreksi pembesaran kaki tiang, N_{db} (Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013)



Gambar 6. Faktor koreksi terhadap angka Poisson, N_v (Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013)



Gambar 7. Faktor koreksi terhadap modulus elastisitas tanah, N_m (Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013)

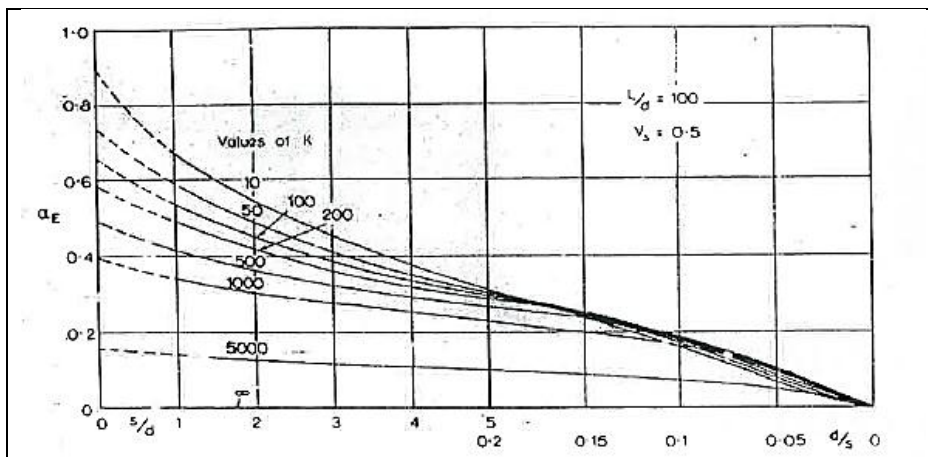
2.4.2 Faktor Interaksi Ujung (a_E)

Faktor interaksi (a_E) digunakan untuk tiang tahanan ujung pada tanah keras ditunjukkan pada **Gambar 8** dan faktor interaksi reduksi (F_E) ditunjukkan pada **Gambar 9**. Untuk kaki tiang yang berada pada lapisan tanah yang kompresibel, faktor interaksi tiang akan berada diantara kondisi tiang gesek pada tanah homogen (a_F) dan kondisi tiang tahanan ujung (a_E) dinyatakan dengan **Persamaan 9** (Rahardjo, P. P., 2013).

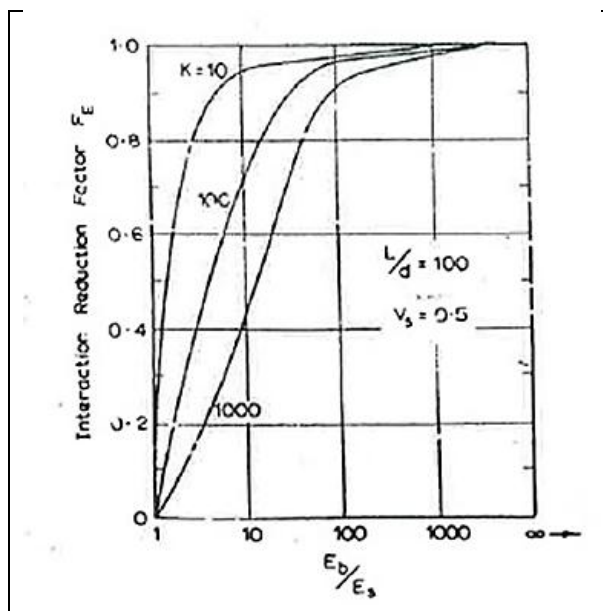
$$a = a_F - F_E * (a_F - a_E) \dots(9)$$

dimana:

F_E = faktor tergantung dari besaran $L/D, E_b/E_s, K$.



**Gambar 8. Faktor interaksi tiang tahanan ujung $L/D = 100$
 (Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013))**

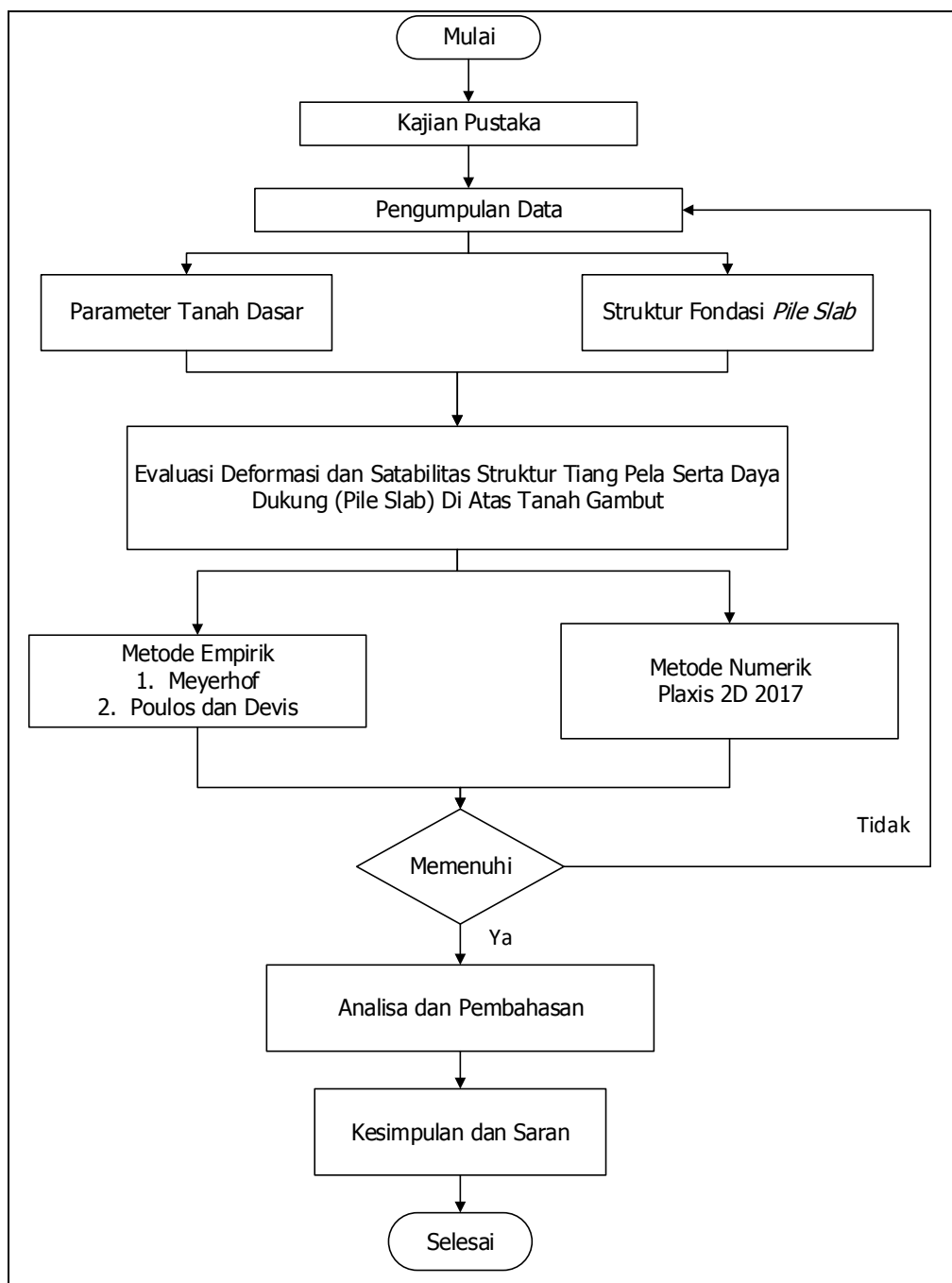


**Gambar 9. Faktor reduksi interaksi $F_E, L/D = 100$
 (Poulos & Devis, 1980 dalam Rahardjo, P. P., 2013)**

3. ANALISIS DATA

3.1 Tahapan Kegiatan Penelitian

Untuk memberikan gambaran yang jelas tentang tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan, maka dapat di lihat bagan alir penelitian pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Bagan alir penelitian

3.2 Pengumpulan data

Data teknis yang didapatkan dikumpulkan dan dijadikan bahan acuan untuk kepentingan penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Data tanah.
2. Data fondasi *pile slab*.

3.3 Parameter Tanah Dasar

Berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan pengujian Laboratorium Mekanika Tanah PT. Waskita Karya, maka parameter tanah dasar pada lokasi studi kasus dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Tanah Dasar

No	Kedalaman [m]	Jenis Tanah	ΔL [m]	γ_{sat} [kN/m ²]	γ_{unsat} [kN/m ²]	C' [kN/m ²]	ϕ [°]	ν	E' [kN/m ²]
1	0 - 8	Peat	8	15	14	2	5	0,3	500
2	8 - 10	Clay	2	16	15	12	-	0,3	2.000
3	10 - 16	Sand	6	19	18	-	30	0,25	9.958
4	16 - 22	Clay	6	17	16	70	-	0,3	11.000
5	22 - 23	Clay	2	16	15	25	-	0,3	14.000
6	23 - 28	Clay	4	17	16	70	-	0,3	21.000
7	28 - 34	Sand	6	19	18	-	32	0,25	27.576
8	34 - 36	Silty	2	20	19	-	35	0,25	43.000
9	36 - 46	Silty	10	20	19	-	40	0,25	60.000

3.4 Perhitungan Daya Dukung

Penentuan kapasitas daya dukung dengan cara empirik dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut:

3.4.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Adapun perhitungan dalam menentukan kapasitas daya dukung tiang ujung (Q_p) dengan metode ini dapat menggunakan **Persamaan 2** dilakukan perhitungan dengan rumus tersebut diperoleh nilai daya dukung (Q_p) sebesar 328,28 ton, dan perhitungan untuk mendapatkan daya dukung gesek (Q_s) dapat menggunakan **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**, maka diperoleh hasil nilai daya dukung (Q_s) sebesar 289,21 ton. Untuk mendapatkan daya dukung ultimit (Q_U) menggunakan **Persamaan 1** diperoleh hasil sebesar 617,59 ton.

3.4.2 Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Adapun perhitungan dalam menentukan kapasitas daya dukung kelompok tiang ($Q_{u(g)}$) dapat menggunakan **Persamaan 5**. Kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal kalikan dengan jumlah tiang, maka diperoleh ($Q_{u(g)}$) sebesar 6.175,9 ton.

3.5 Analisa Penurunan Kelompok Tiang Berdasarkan Faktor Interaksi (Metode Poulos)

Perhitungan untuk menentukan penurunan kelompok tiang berdasarkan faktor interaksi kelompok dapat menggunakan **Persamaan 7**. Hasil perhitungan penurunan dari faktor interaksi tiang gesek S_i dan hasil penurunan dari faktor interaksi tahanan ujung sebesar (S_i). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Hasil Penurunan Dari Faktor Interaksi Tiang Selimut

No	x_i [m]	P_j [ton]	$P_j * a_{ij}$ [ton]	X_1 [m]	P_i [ton]	S_i [m]
1	0,00065	65	16,712	0,00065	65	0,0531
2	0,00065	65	19,101	0,00065	65	0,0547
3	0,00065	65	20,692	0,00065	65	0,0557
4	0,00065	65	21,786	0,00065	65	0,0564
5	0,00065	65	22,283	0,00065	65	0,0567
6	0,00065	65	22,283	0,00065	65	0,0567
7	0,00065	65	21,786	0,00065	65	0,0564
8	0,00065	65	20,692	0,00065	65	0,0557
9	0,00065	65	19,101	0,00065	65	0,0547
10	0,00065	65	16,713	0,00065	65	0,0531

Tabel 3. Hasil Penurunan Dari Faktor Interaksi Tiang Tahanan Ujung

No	X_i [m]	P_j [ton]	a	X_i [m]	P_i [ton]	S_i [m]
1	0,00065	65	-0,06	0,00065	65	0,0232
2	0,00065	65	-0,06	0,00065	65	0,0216
3	0,00065	65	-0,04	0,00065	65	0,0209
4	0,00065	65	-0,07	0,00065	65	0,0197
5	0,00065	65	-0,07	0,00065	65	0,0192
6	0,00065	65	-0,06	0,00065	65	0,0192
7	0,00065	65	-0,06	0,00065	65	0,0197
8	0,00065	65	-0,04	0,00065	65	0,0209
9	0,00065	65	-0,03	0,00065	65	0,0216
10	0,00065	65	-0,03	0,00065	65	0,0232

3.5.1 Faktor Interaksi Tiang Gesekan (a_F)

Untuk menentukan faktor interaksi tiang gesek (a) dapat menggunakan **Persamaan 8**. Menentukan faktor koreksi N_h, N_{db}, N_v, N_m pada **Gamabar 4 sampai dengan Gambar 7** diperoleh nilai $N_h = 0,38$ $N_{db} = 1,2$ $N_v = 1$ dan $N_m = 0,36$ untuk nilai (a_F) diperoleh dengan menggunakan **Gambar 3**.

3.5.2 Faktor Interaksi Tiang Tahanan Ujung (a_E)

Untuk menentukan faktor interaksi tiang ujung (a) dapat menggunakan **Persamaan 9**. Terlebih dahulu menentukan faktor reduksi intraksi F_E pada **Gambar 10** dengan nilai 0,95 maka diperoleh faktor interaksi tiang tahanan ujung (a_E) dapat dilihat pada **Tabel 3**.

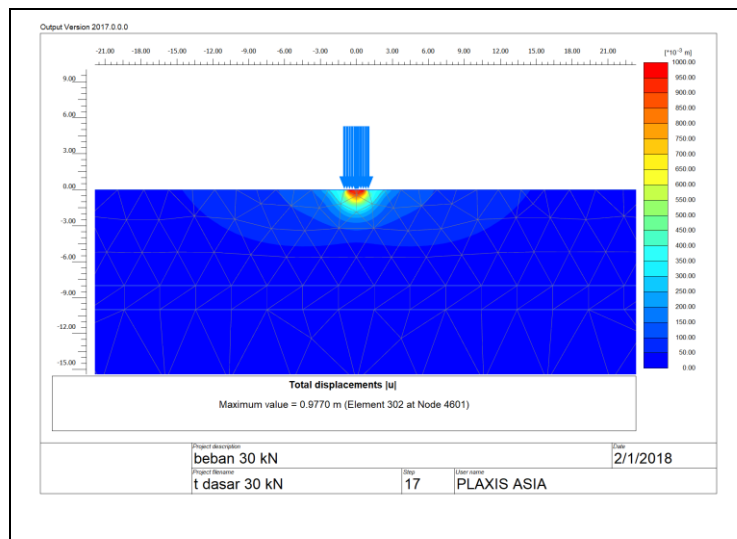
3.6 Hasil Output PLAXIS 2D 2017

Hasil *output* dari program PLAXIS 2D 2017 untuk tanah dasar sebelum ada perkuatan diperoleh daya dukung sebesar 20,969 kPa dengan penurunan sebesar 0,977 m, dengan modulus keruntuhan geser setempat ke arah bawah fondasi (*punching shear failure*) dapat dilihat pada **Gambar 11** dan **Gambar 12**. Sedangkan untuk tanah dasar setelah ada perkuatan struktur *pile slab* diperoleh daya dukung sebesar 7.078,83 ton dengan penurunan yang diperoleh sebesar 0 m. penurunan terjadi pada pemodelan lapisan tanah gambut namun pada struktur *pile slab* tidak terjadi penurunan sama sekali. Lebih jelas bisa dilihat pada **Gambar 13** dan **Gambar 14**.

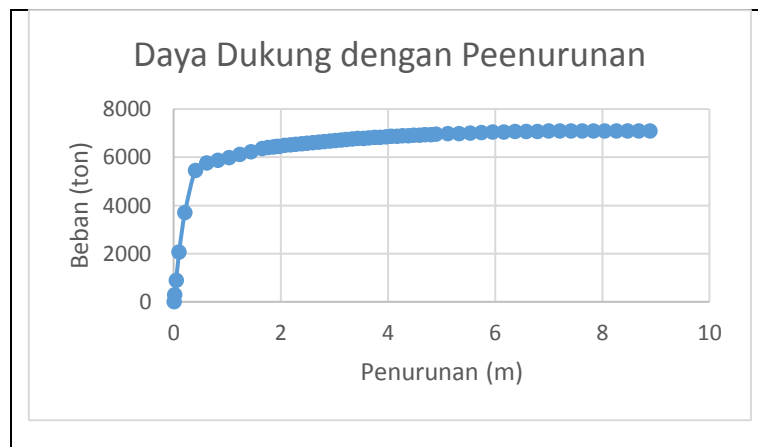


Gambar 11. Grafik daya dukung terhadap penurunan tanah dasar sebelum ada perkuatan dengan beban 30 kN hasil output PLAXIS 2D

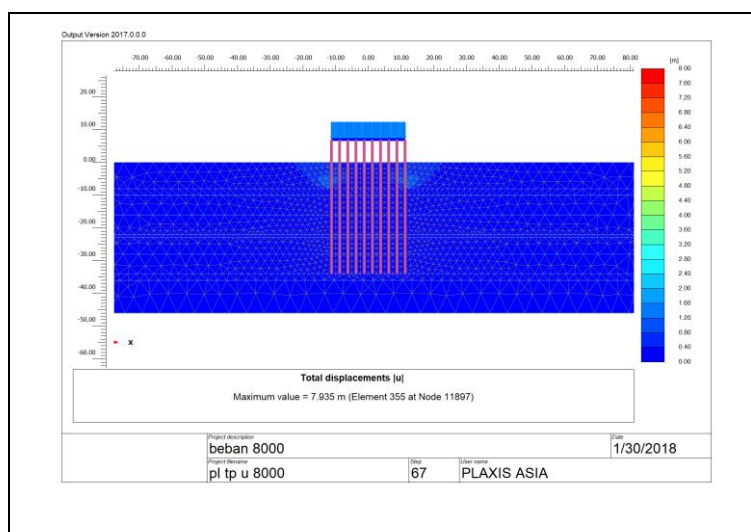
Evaluasi Deformasi dan Stabilitas Struktur Tiang Pelat (Pile Slab) di Atas Tanah Gambut (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung, Provinsi Sumatera Selatan)



Gambar 12. Pemodelan penurunan tanah sebelum ada perkuatan dengan beban 30 kN hasil *output* PLAXIS 2D



Gambar 13. Grafik daya dukung terhadap penurunan dengan beban 8.000 ton hasil *output* PLAXIS 2D



Gambar 14. Pemodelan penurunan dengan beban 8.000 ton hasil *output* PLAXIS 2D

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat diuraikan perihal kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kapasitas daya dukung dengan perhitungan empirik untuk kapasitas tiang Tunggal diperoleh nilai daya dukung sebesar 617,591 ton, sedangkan untuk kapasitas kelompok tiang mendapatkan nilai daya dukung sebesar 6.175,91 ton
2. Hasil analisis penurunan kelompok tiang berdasarkan interaksi tiang gesek dengan metode empirik menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi pada posisi tiang paling tengah dengan diperoleh nilai penurunan sebesar 0,0567 m sedangkan untuk tahanan ujung tiang menunjukkan bahwa penurunan paling besar terjadi pada posisi tiang terluar yaitu dengan nilai penurunan sebesar 0,0232 m.
3. Tanah dasar tanpa perkuatan dengan hasil PLAXIS 2D 2017 diperoleh daya dukung sebesar 20,969 kN dengan penurunan 0,977 m. Menunjukkan bahwa tanah dasar harus menggunakan perkuatan untuk menambah daya dukung dan mengurangi penurunan agar struktur jalan dapat dibangun di atas tanah gambut.
4. Daya dukung aksial pile slab hasil analisis numerik dengan PLAXIS 2D 2017 setelah menggunakan perkuatan *pile slab* diperoleh sebesar 7.078,83 ton tanpa terjadinya deformasi, karena nilai penurunannya sebesar 0 m.
5. Analisis daya dukung dan penurunan tiang metode empirik dibandingkan numerik memiliki perbedaan karena parameter yang digunakan dalam metode empirik banyak asumsi dan penyerderhanaan.
6. Hasil analisis daya dukung dan penurunan kelompok tiang, baik menggunakan metode empirik maupun numerik menunjukkan bahwa struktur *pile slab* dalam penelitian Tugas Akhir ini aman terhadap deformasi dan gangguan stabilitas.

DAFTAR RUJUKAN

- Das, B. M. (1985). *Principles of Soil Dynamic*. California: PWS Publishing.
- Rahardjo, P. P. (2013). *Manual Pondasi Tiang Edisi 4*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan - Geotechnical Engineering Center - Deep Foundation Research Institute.
- Santosa, L. (2005). *Karakteristik Fisis dan Mekanis Gambut. Tesis*. Bandung: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan.
- Priyanto, E. (2016, Juni 16). *Perencanaan Pengusahaan dan Desain Awal*. Dipetik September 15, 2017, dari <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1929354>