

Analisa Pile Slab Pada Tanah Rawa (Jalan Tol Manado-Bitung)

Claudio Daniel Sorongan¹, Fabian J. Manoppo², Steeva G. Rondonuwu³
Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115
¹dio.sorongan@yahoo.co.id; ²fmanoppo@yahoo.com; ³steeva_rondonuwu@yahoo.com

Abstrak - Jalan Tol Manado-Bitung yang mempunyai panjang 39,9 km adalah infrastruktur jalan yang dibangun oleh pemerintah untuk mengurangi kemacetan yang terjadi antara kota Manado dan kota Bitung akibat terjadinya peningkatan volume kendaraan serta interaksi di kedua kota tersebut. Akan tetapi, saat pembangunan terdapat suatu kendala yaitu trase jalan harus melewati daerah dengan kondisi tanah yang sangat lunak/tanah rawa. Dimana jenis tanah ini diketahui memiliki daya dukung yang sangat rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuat jalan dengan menggunakan struktur Pile slab. Struktur Pile slab terdiri dari slab, pile head dan pondasi tiang pancang. Standar pembebanan pada struktur mengacu pada SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan). Analisis yang digunakan untuk mendesain struktur Pile slab ini adalah analisis dengan cara statis dan dengan menggunakan program AllPile. Berdasarkan analisa perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa struktur Pile slab dapat memikul beban vertical sebesar 3290,7 kN dan horizontal sebesar 498,5 kN dengan eksentrisitas yang terjadi setinggi 3 m. Setelah dilakukan analisa terhadap daya dukung dengan menggunakan cara statis maupun dengan menggunakan Program AllPile didapatkan penurunan sebesar 0,1cm dan defleksi sebesar 2,5cm.

Kata kunci — jalan tol, pile slab, tanah rawa, allpile, standard penetration test (SPT)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai ibu kota dari provinsi Sulawesi utara kota Manado merupakan salah satu kota di Indonesia dengan presentase pertumbuhan ekonomi yang cukup pesat. Dengan keberadaan pelabuhan utama provinsi Sulawesi Utara berada di kota Bitung maka interaksi yang terjadi antara penduduk kota Manado sebagai ibukota provinsi dan kota Bitung meningkat. Karena meningkatnya volume lalu lintas antara kota Manado dan kota Bitung, maka pemerintah Provinsi Sulawesi Utara membangun infrastruktur transportasi yaitu jalan Tol Manado-

Bitung sebagai salah satu upaya untuk mengurangi kemacetan yang sering terjadi di jalan nasional Manado - Bitung. Jalan tol Manado – Bitung dibangun untuk menyediakan jalan alternatif dari ruas jalan Manado – Bitung yang telah ada sebelumnya, di mana sampai saat ini merupakan satu-satunya jalur penghubung antara kedua kota saat ini. Sejalan dengan pertumbuhan jumlah kendaraan yang meningkat tajam menyebabkan jalur tersebut semakin padat.

Total panjang tol Manado – Bitung tersebut sepanjang 39,9 km terbagi atas dua seksi yakni seksi I sepanjang 14,9 km dari Manado-Airmadidi dan seksi II sekitar 25 km dari Airmadidi-Bitung. Pembangunan jalan Tol Manado-Bitung ini awalnya direncanakan akan selesai pada tahun 2018 akan tetapi pada saat pembangunan ditemukan beberapa kendala salah satunya yaitu ditemukannya tanah rawa pada lokasi dimana trase jalan akan dibangun, yang mana mengakibatkan proses konstruksi jalan Tol ini terhambat karena tanah rawa tidak dapat memikul beban atau dengan kata lain tanah yang memiliki daya dukung yang sangat rendah. Telah dilakukan beberapa penelitian dengan tujuan untuk mendapatkan solusi dalam mengatasi masalah tanah dasar rawa yang berindikasi tidak stabil. Dalam hal ini penulis mengambil wacana penggunaan konstruksi Pile Slab untuk perencanaan infrastruktur jalan tol Manado-Bitung.

B. Rumusan Masalah

1. Jenis tiang pancang apa yang akan digunakan pada Struktur Pile Slab ?
2. Berapa dimensi tiang pancang pada Pile Slab sesuai dengan beban yang ada di jalan Tol Manado – Bitung ?
3. Berapa daya dukung maksimal Pile Slab tunggal dan kelompok dalam satu segmen ?
4. Berapa jumlah tiang yang diperlukan struktur Pile Slab untuk memikul beban yang bekerja pada struktur ?
5. Berapa besar settlement dan defleksi yang terjadi pada struktur?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain struktur Pile Slab yang cocok pada segmen yang sudah ditentukan serta mengontrol kemampuan struktur dalam memikul beban yang bekerja pada segmen tersebut baik secara vertical maupun horizontal.

Claudio Daniel Sorongan adalah mahasiswa tingkat akhir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada bidang Geoteknik (email : dio.sorongan@yahoo.co.id);

Fabian J. Manoppo adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi dan guru besar pada bidang Geoteknik (email : fmanoppo@yahoo.com)

Steeva G. Rondonuwu adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada bidang Geoteknik (email : steeva_rondonuwu@yahoo.com)

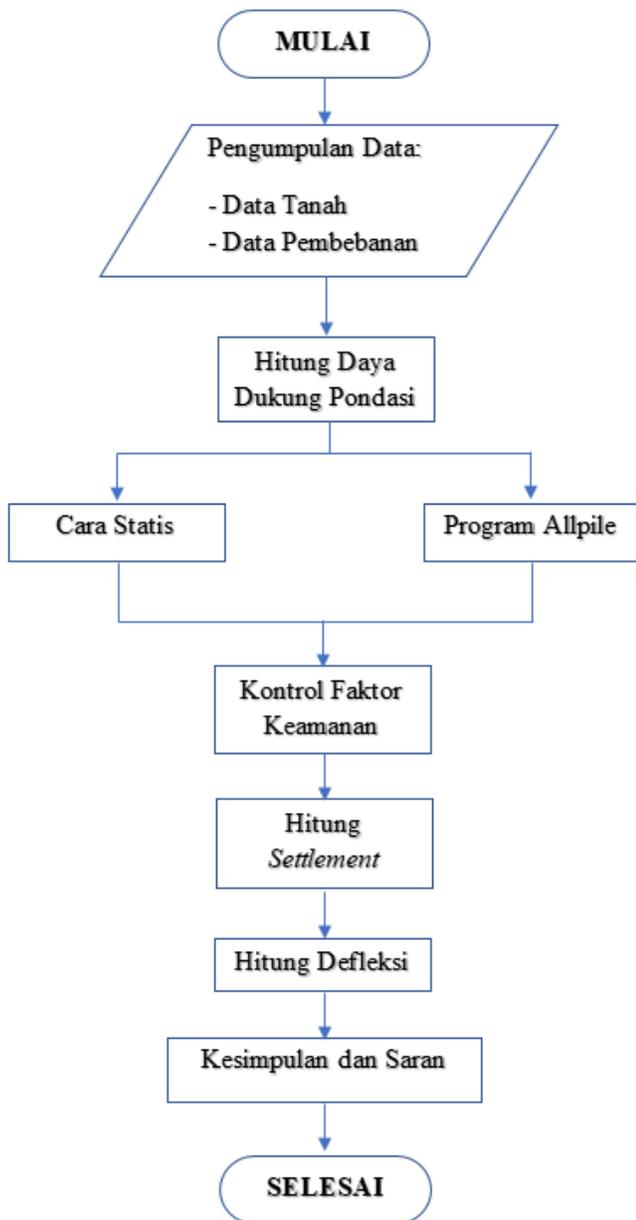
D. Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan referensi dalam pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung
2. Dapat membantu mahasiswa lainnya sebagai referensi atau contoh apabila mengambil topik bahasan yang sama.
3. Dapat mendesain struktur Pile Slab yang tepat untuk memikul beban yang bekerja dilokasi penelitian.

II. METODE PENELITIAN

A. Bagan Alir

Kegiatan penelitian ini mengikuti bagan alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

B. Umum

Pada kasus ini penulis mengambil studi kasus di jalan tol Manado–Bitung. Dalam kasus analisis desain struktur Pile slab pada tanah rawa kali ini penulis menggunakan pendekatan perhitungan data tes lapangan yaitu SPT dan menggunakan program AllPile untuk menganalisis kemampuan struktur dalam memikul beban yang dimiliki jalan tersebut.

C. Cara Analitis

Dalam menganalisis struktur pile slab pada tanah rawa ini, penulis melakukan dengan 7 tahapan yaitu :

1. Menganalisis Jenis dan sifat-sifat tanah
2. Menghitung beban – beban yang bekerja pada jalan tersebut.
3. Menghitung daya dukung vertical
4. Menghitung daya dukung horizontal
5. Menghitung berapa besar settleman/penurunan yang terjadi di lokasi penelitian.
6. Menghitung berapa besar defleksi yang ada dilokasi penelitian
7. Mengontrol safety factor.

D. Lokasi dan Metode Pengumpulan Data

Data pokok yang dibutuhkan dalam analisis ini ada dua macam yaitu :

- Data Tanah
Untuk mengetahui kemampuan daya dukung tiang pancang di dalam memikul beban-beban yang ada, perlu dilakukan analisis struktur struktur secara menyeluruh. Daya dukung tiang pancang dihitung berdasarkan nilai N-SPT yang didapat dari uji tanah di lapangan.
- Data Pembebanan
Penelitian Pile Slab pada area jalan tol Manado-Bitung dapat diawali dengan menghitung beban-beban yang bekerja pada konstruksi tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan standarisasi pembebanan pada panduan Indonesia Bridge Management System (IBMS,1992), beban-beban yang akan dihitung antara lain :
 - Berat Sendiri (MS)
 - Beban Mati Tambahan (MA)
 - Beban Lalu Lintas
 - Gaya Rem (TB)
 - Beban Angin (EW)
 - Pengaruh Temperatur (ET)
 - Beban Gempa (EQ)

E. Analisa Daya Dukung

Daya dukung pondasi tiang dihitung dengan menggunakan 2 cara yaitu dengan cara statis dan kedua menggunakan program AllPile, dimana digunakan data tanah hasil pengujian SPT, sehingga didapatkan parameter-parameter tanah yang dibutuhkan untuk perhitungan daya dukung tanah baik dengan cara statis maupun menggunakan program AllPile

F. Menghitung Settlement/Penurunan

Setelah didapatkan jumlah pondasi dan dimensi yang dapat memikul beban yang ada dari hasil analisis daya dukung pondasi dengan cara statis maupun dengan menggunakan

bantuan AllPile versi 6.5, langkah selanjutnya yaitu menghitung settlement/penurunan yang dapat terjadi pada tanah akibat beban yang bekerja.

G. Menghitung Defleksi

Untuk mencegah kegagalan struktur akibat perubahan bentuk tiang atau defleksi maka perlu adanya perhitungan defleksi. Dalam menghitung total defleksi yang terjadi pada tiang penulis menggunakan persamaan Poulos and Davis.



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Data Tanah



Gambar 3. Lokasi Jalan Tol Manado-Bitung

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Pile Slab Dengan Cara Statis Pengumpulan Data :

- **Data Beban**
 Nilai beban vertical, beban horizontal, dan momen ultimate, adalah sebagai berikut :
 Beban Vertikal = 3290.71 kN
 Beban Horizontal = 498.35756 kN
 Momen Ultimate = 1066.51 kN.m
- **Data Tanah**
 Data tanah yang digunakan diambil dari pengujian SPT (Standart Penetration Test) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Menghitung Daya Dukung Aksial Pile Slab

- a. **Daya Dukung Ujung Tiang Pancang**
 $Q_{wp} = 40 \cdot (N_b) \cdot (A_b) = 1256 \text{ kN}$
- b. **Daya Dukung Friksi Tiang Pancang**

- c. **Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang**
 $Q_w = (Q_{wp} + Q_{ws}) = 1977.886 \text{ kN}$
- d. **Perhitungan Daya Dukung Ijin Tiang Pancang**
 $Q_a = Q_w / S = 791.1544 \text{ kN}$

Dengan memperhitungkan besarnya efisiensi tiang yaitu sebesar 82% (maksimal), maka jumlah tiang yang diperlukan agar supaya bisa memikul beban aksial sebesar 3290.71 kN adalah sebanyak 6 tiang.

$Q_a = 791.1544 \cdot \eta = 648.746608$
 Maka, $648.746608 \cdot 6 = 3892.4796 \text{ kN} > 3290.71 \text{ kN}$
 Qijin tiang grup > beban (OK)

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN SPT

Lapisan	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N _{spt}	G - kN/m ³	Phi	C - kN/m ²	k - MN/m ³
1	10	Soft Silt	1	15.5	25.6	3.8	3.8
2	15	Medium Silt	5	18.7	27.6	15	25.9
3	20	Stiff Silt	10	20.3	29.8	29.9	85
4	25	Very Stiff Silt	20	20.9	33	60.1	222.4
5	30	Hard Silt	40	21.9	36.4	119.7	523.5

TABEL 2
KRITERIA TIANG PANJANG ATAU PENDEK

Jenis tiang	Modulus Tanah	
	L ≤ 2 T	L ≤ 2R
Kaku (Pendek)		
Elastis (panjang)	L ≥ 4T	L ≥ 0.35 R

Menghitung Daya Dukung Lateral

1. **Metode Broms**
 Penentuan kriteria panjang atau pendek ditentukan berdasarkan nilai T :

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}} = \sqrt[5]{\frac{23453000 \cdot 0.049}{11779}} = 2,499 \text{ m}$$

$L \geq 4T$
 $30 \geq 4 \cdot (2.499)$
 $30 \geq 9.99 \text{ (OK)}$

2. **Metode Meyerhof**
 $K_r = \frac{E_p \cdot I_p}{E_s \cdot L^4} = \frac{23453000 \cdot 0.049}{30640 \cdot 30^4}$
 $= 4,63042 \cdot 10^{-5} \text{ (} K_r < 0, \text{Tiang Flexible)}$
 Hitung Lendutan Pasir
 $L_e = 2,3L \cdot K_r^{0.2} = 9,375041$
 $Q_u = 0,12 \cdot \sigma \cdot B \cdot D \cdot K_b = 0,893 \text{ kN}$
 $Q_{all} = Q_u / F_s = 0,3572 \text{ kN}$

Cek keruntuhan tanah akibat beban lateral tiang

TABEL 3
PERHITUNGAN M_{MAKS}

Kedalaman (m)	Layer	D (m)	φ (°)	γ (kN/m ³)	K _p	M _{maks} kNm
10	1	1	25.6	15.5	2.52	10614.24
15	2	1	27.6	18.7	2.72	11456.64
20	3	1	29.8	20.3	2.97	12509.64
25	4	1	34.2	21	3.56	14994.72
30	5	1	36.4	21.9	3.91	16468.92

Berat beton bertulang (W _c)	= 25 kN/m ³
Luas penampang tiang pancang (A) = p/4*D ²	= 0.78 m ²
Panjang tiang pancang (L)	= 30 m
Berat tiang (W) = A*D*π*W _c	= 61.653 kN
Moment arah y (M _y) = 1/8*W*L ²	= 6935.96 kNm

Karena M_{max} > M_y sehingga tiang mengalami keruntuhan terlebih dahulu daripada tanahnya maka tiang yang digunakan diasumsikan sebagai tiang panjang dengan ujung bebas.

Cek ketuntuhan tiang akibat momen lantur maksimum tiang

Kapasitas momen ultimate = 60 kN
 Kapasitas lateral ultimate = 60 kN
 H_u = 60*K_p*D³*γ = 3623.28 kN
 H = H_u/F = 3623.28/2.5 = 1449,312kN
 1449.312 x 6 = 8695,872 kN > 498.4 kN (OK)

Settlement/Penurunan

- Tiang Pancang Tunggal
 $S = \frac{(Q_p + \alpha Q_s)L}{A_p E_p} = 0.002 \text{ m}$

$$\alpha = \left[\frac{nh}{E_p I_p} \right]^{1/5} = 0.4$$

$$S = 0.002m = 2mm$$

- Tiang Pancang Kelompok

 - Efisiensi kelompok tiang

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} = 0,8181117 = 82\%$$

 - Kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah pasir

$$Q_g = n.Q_a.E_g = 1944.5 \text{ kNm}$$

 - Penurunan pondasi kelompok pada tanah pasir

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{a}} = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

Defleksi

$$y_o = \frac{2.4 H}{nh^3 EI^3} + \frac{1.6 H}{nh^5 EI^5} = 0.1181 + 0.03151 = 0.149616 \text{ m}$$

B. Perhitungan Pile Slab Dengan Menggunakan Program AllPile

Vertical Analysis Summary Output

1. Single Pile Vertical Analysis (in group)

Vertical Load = 548.45 -kN

Results:

	Down (kN)	Up (kN)
Total Ultimate Capacity	13678.12-kN	4621.99-kN
Total Allowable Capacity	7869.79-kN	2594.23-kN

At Work Load = 548.45 - kN,

Settlement = 0.075 - cm

Secant Stiffness K_{qx} = 7310.50 -kN/cm

Work Load, 548.45-kN, OK, with the Capacity at Allowable Settlement = 2.500-cm, Capacity = 10566,22-kN

Work Load, 548.45-kN, OK, with the Allowable Capacity (Down)= 7869,79-kN

2. Group Pile Vertical Analysis (in group)

Vertical Load = 3290.71 - kN

Results:

	Down (kN)	Up (kN)
Total Ultimate Capacity	73782.63-kN	19831.81-kN
Total Allowable Capacity	40804.84-kN	11332.09-kN

At Work Load = 3290.71-kN,

Settlement = 0.10458-cm

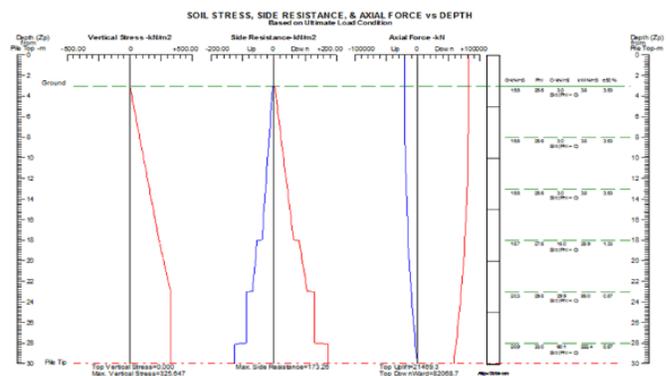
Secant Stiffness K_{qx} = 31465.95-kN/cm

At Work Load, 3290.71-kN, OK with the Capacity at Allowable Settlement = 2.50-cm, Capacity = 55656.76-kN

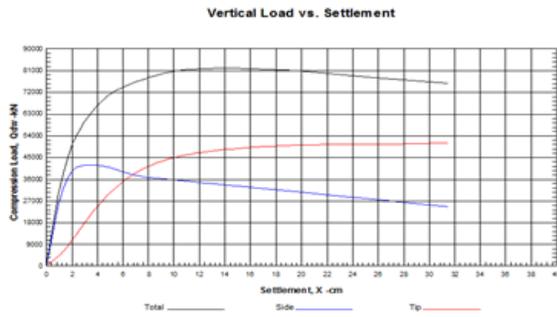
At Work Load, 3290.71-kN, OK with the Allowable Capacity (Down) = 45124.95-kN

TABEL 4
ANGKA FAKTOR KEAMANAN

SAFETY FACTOR (SF)			
Side	Tip	Uplift	Weight
1.5	2.0	2.0	1.0



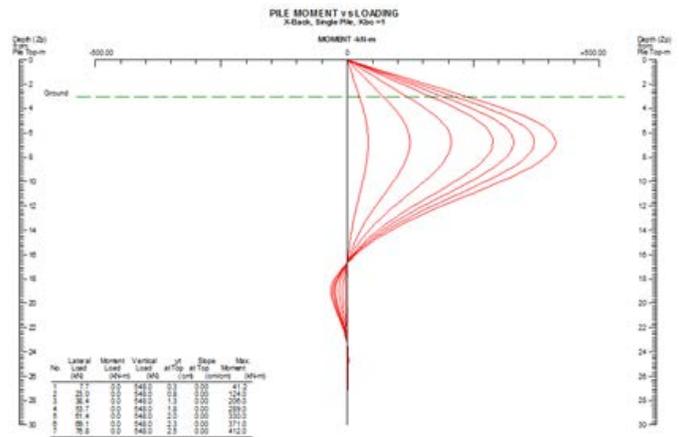
Gambar 4. Output Program AllPile Pada Daya Dukung Vertical



Gambar 5. Output Grafik Pengaruh Beban Vertical Terhadap Settlement Pada Program AllPile

Final Results & Summary:

Max. Cap Settlement (X_{max}) = 0.07412-cm
 Average Cap Settlement ($X_{average}$) = 0.07411-cm
 Differential Cap Settlement (X_{diff})= 0.00003-cm
 Cap Rotation (R_t) = 0.000000001 Slope
 Cap Rotation (R_a)= 0.00000008 Degree
 Lateral Cap Movement (Deflection), y_t = 2.500-cm
 Front Pile: Shear= 114.50-kN, M_{max} = 555.99-kN-m
 Back Pile: Shear= 76.77-kN, M_{max} = 412.03-kN-m
 Lateral Cap Movement, y_t = 2.500-cm, OK with the Allowable Deflection = 2.500-cm
 Max. Cap Settlement, X_{max} = 0.074-cm, OK with the Allowable Deflection= 2.500-cm



Gambar 8. Output Grafik Pengaruh Beban Terhadap Moment Tiang Pada Program AllPile

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- Jumlah tiang dalam 1 group yang diperlukan agar struktur Pile Slab bisa memikul beban yang ada di segmen tersebut adalah sebanyak 6 tiang dengan masing-masing tiang memiliki diameter sebesar 100 cm dan jarak 100 cm
- Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan hasil seperti table di bawah ini :

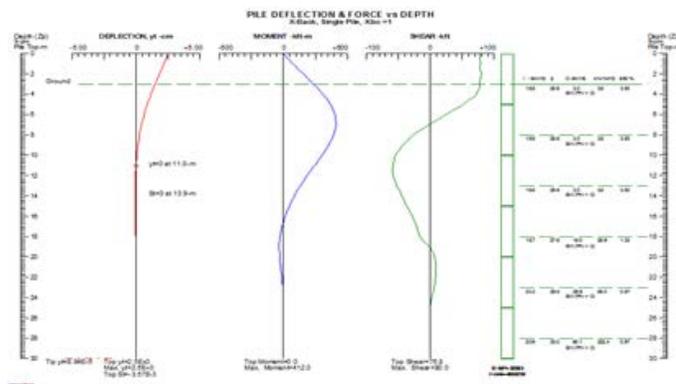
TABEL 5
 REKAP KAPASITAS DAYA DUKUNG, PENURUNAN SERTA DEFLEKSI PILE GROUP

Metode	Kapabilitas Daya Dukung Tiang Kelompok (Q_u)			
	Vertical kN	Horizontal kN	Penurunan cm	Defleksi cm
Cara Statis	3892.4796	8,695,872	0.02	0.149616
Program AllPile	45124.95	6496.45	0.10458	2.5

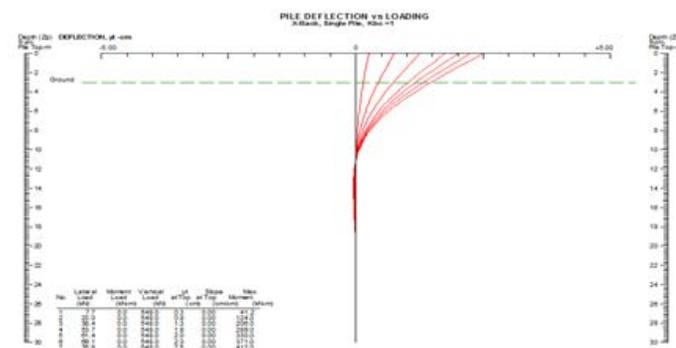
- Penurunan serta defleksi yang terjadi pada struktur masih pada zona aman karena masih dibawah safety factor yang ditentukan yaitu sebesar 2.5
- Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan program AllPile, Struktur Pile Slab bisa dikatakan mampu memikul beban yang bekerja pada segmen tersebut apabila eksentrisitas yang terjadi hanya sebesar 3m.
- Dari hasil perhitungan, tanah rawa perlu ditimbun sedalam 12 m agar dapat memenuhi daya dukung yang diijinkan

B. Saran

1. Untuk perencanaan daya dukung tanah, selain menggunakan data N-SPT, dapat juga digunakan data sondir test dan data boring test.
2. Hasil analisis perhitungan yang diperoleh sebaiknya dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya.
3. Jumlah titik pengujian untuk menganalisis Struktur Pile



Gambar 6. Output Program AllPile pada Daya Dukung Horizontal



Gambar 7. Output Grafik Pengaruh Beban Terhadap Defleksi Pada Program AllPile

Slab sebaiknya lebih dari satu titik agar supaya ada data pembandingan antara satu titik dengan titik lainnya.

V. KUTIPAN

A. Buku

- [1] Badan Standardisasi Nasional, *Standar Pembebanan Untuk Jembatan – SNI T-02-2005*. Bandung: BSN, 2005.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung – SNI 03-1726-2012*. Bandung: BSN, 2012.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Gedung – SNI 2847-2013*. Bandung: BSN, 2013
- [4] Joseph E. Bowles, *Analisis dan Desain Pondasi, Edisi Keempat, Jilid I*. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [5] Joseph E. Bowles, *Analisa dan Desain Pondasi, Edisi Ketiga, Jilid I*. Jakarta: Erlangga, 1983.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum, *Indonesian Bridge Management System*. 1992.
- [7] Akbar Kurniadi, Imam Faizal Rosyidin, Himawan Indarto, Indrastono Dwi Atmono, *Desain Struktur Slab On Pile*. Gramedia Pustaka Utama, 2015.
- [8] H.C. Hardiyatmo, *Teknik Pondasi 2*. Yogyakarta: Beta Offset, 2003.

- [9] Ralph B. Peck, Thomas H. Thornburn, Walter E. Hansen, *Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

B. Jurnal

- [10] G. Meyerhof, "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundation", dalam *Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 102, No. GT3.
- [11] Christian Harsanto, "Analisis Daya Dukung Tiang Bor (Bored Pile) Pada Struktur Pylon Jembatan Soekarno Dengan Plaxis 3D", dalam *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol. 5, No. 2, 2015.