

Optimasi Pada Konstruksi Slab on Pile Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya dengan Tumpuan Interaksi Tanah

Optimization of Slab on Pile Construction for West Outer Ring Road (JLLB) Surabaya with ground interaction pedestal

Muhammad Jovan Azmi Habiballoh¹, Arief Alihudien², Pujo Priyono³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : jovangasmi@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : Ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : pujopriyono@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Konstruksi *slab on pile* merupakan struktur jembatan yang dibangun di atas tanah berupa kombinasi tiang pancang dan pelat dari beton dengan jarak pondasi yang berdekatan. Biasanya, dalam perencanaan suatu bangunan, struktur atas dan pondasi di analisa secara terpisah karena hal itu memiliki kelemahan perhitungan yang kurang terinteraksi dengan baik. Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis mengoptimasi struktur *Slab on Pile* pada JLLB- Surabaya dengan tumpuan interaksi tanah, sehingga realitas desain yang diterapkan pada struktur atas dan pondasi akan mendekati kenyataan di lapangan.. Dari hasil perhitungan nilai *springs constant* untuk arah vertikal (Kv) pada ujung tiang pancang kedalaman 28 m didapat nilai 57.321 ton. *Springs constant* untuk arah mendatar atau horizontal (Kh) pada tiap kedalaman 1 m dengan pengelompokan sesuai jenis konsistensi tanah yaitu : kedalaman 1-10 m, tanah sangat lunak (Kh) 8.874 ton, kedalaman 11-14 m, tanah lunak (Kh) 3.944 ton, kedalaman 15-23 m, tanah medium (Kh) 8.874 ton, serta kedalaman 24-28 m, tanah kaku (Kh) 5.916 ton. Dari hasil optimasi didapat tebal pelat optimum 23,5 cm atau 0,235 m dengan derajat optimasi 41,25 %, juga didapatkan penambahan rasio tulangan, tulangan lapangan sebesar 78,29 % serta tulangan tumpuan sebesar 103,72 %.

Keywords: konsistensi tanah, *slab on pile*, *springs constant*, tiang pancang.

Abstract

Slab on pile construction is a bridge structure built on the ground in the form of a combination of piles and slabs of concrete with adjacent foundation distances. Usually, in the planning of a building, the superstructure and the foundation are analyzed separately because it has the weakness of calculations that do not interact well. Therefore, in this study, the author optimizes the Slab on Pile structure at JLLB-Surabaya with the support of soil interaction, so that the design reality applied to the superstructure and foundation will approach the reality in the field. From the results of the calculation of the value of springs constant for the vertical direction (Kv) at the end of the pile with a depth of 28 m obtained a value of 57,321 tons. Springs constant for horizontal or horizontal direction (Kh) at each depth of 1 m with grouping according to the type of soil consistency, namely: depth 1-10 m, very soft soil (Kh) 8,874 tons, depth 11-14 m, soft soil (Kh) 3,944 tons, 15-23 m depth, medium soil (Kh) 8,874 tons, and depth 24-28 m, rigid soil (Kh) 5,916 tons. From the optimization results, the optimum slab thickness is 23.5 cm or 0.235 m with an optimization degree of 41.25%, additional reinforcement ratio, field reinforcement is 78.29% and support reinforcement is 103.72%.

Keywords: *slab on pile*, *springs constant*, *pile*, *soil consistency*.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Konstruksi *slab on pile* merupakan struktur jembatan yang dibangun di atas tanah berupa kombinasi pondasi tiang pancang dan pelat dari beton dengan jarak antar pondasi tiang pancang saling berdekatan sesuai perencanaan dilapangan.

Dalam dunia konstruksi ada beberapa bagian-bagian bangunan (struktur) yang meliputi bangunan atas (upper structure) juga bangunan bawah yang biasa disebut (sub structure). Dua hal tersebut tidak dapat terpisah dari dunia konstruksi bangunan sipil, terutama pada bangunan bawah (pondasi) yang memiliki peran sangat penting yaitu sebagai penerima beban akhir dari suatu bangunan konstruksi. Pondasi menurut Das, (1995) berdasarkan kedalamannya didalam tanah dibedakan menjadi dua, yaitu pondasi dalam (deep foundation) dan pondasi dangkal (shallow foundation).

Pondasi dalam (deep foundation) salah satunya yaitu tiang pancang. Tiang pancang biasanya digunakan pada suatu bangunan yang tanah dasar pada bangunan tersebut letaknya sangat dalam atau tanah dibawah bangunan tersebut tidak mampu memikul beban bangunan yang ada diatasnya karena mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang kecil. Mengingat Kawasan JLLB mayoritas merupakan daerah rawa maka pondasi tiang pancang sangat cocok untuk keadaan tanah tersebut.

Biasanya, dalam perencanaan suatu bangunan, struktur atas dan pondasi di analisa secara terpisah karena hal itu memiliki berbagai kelemahan, seperti perhitungan yang kurang terinteraksi dengan baik. Oleh sebab itu pada penulisan penelitian ini penulis ingin mengoptimasi ketebalan pelat struktur Slab on Pile pada JLLB- Surabaya dengan tumpuan interaksi tanah. Karena nilai momen dan besarnya defleksi sangat berpengaruh terhadap jenis tumpuan pada tiang pancang sehingga realitas desain yang diterapkan pada struktur atas dan pondasi diharapkan akan mendekati kenyataan di lapangan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah tugas akhir ini, dapat diidentifikasi beberapa point masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung formulasi koefisien interaksi pondasi dan tanah pada konstruksi *Slab on Pile* Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB)- Surabaya?
2. Bagaimana menganalisa derajat optimasi gaya dalam pada slab pada konstruksi *Slab on Pile* Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB)- Surabaya?

C. Tujuan

Dengan memperhatikan rumusan masalah maka tujuan dari penulisan studi ini yaitu sebagai berikut :

1. Menghitung formulasi koefisien interaksi pondasi dan tanah pada konstruksi *Slab on Pile* Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB)- Surabaya
2. Menganalisa derajat optimasi gaya dalam pada slab pada struktur *Slab on Pile* Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB)- Surabaya

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini meliputi :

1. Perhitungan beban struktur pada proses peninjauan penelitian ini penulis menggunakan program bantu SAP 2000 V22 dan , Microsoft Office Excel.
2. Tidak menghitung RAB dan manajemen konstruksi serta tidak meninjau metode pelaksanaan konstruksi.
3. Bangunan yang ditinjau adalah struktur *Slab on Pile* Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB)- Surabaya.

E. Manfaat

Manfaat yang di harapkan oleh penulis dari tersusunnya tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi dalam merencanakan pondasi dengan tumpuan interaksi tanah pada konstruksi *Slab on Pile*
2. Pembaca mampu mengoptimasi struktur dengan pondasi interaksi tanah.
3. Di harapkan dapat digunakan sebagai referensi ataupun pembanding dalam suatu

objek masalah ataupun perencanaan yang sama di masa mendatang.

4. Sebagai referensi bagi pembaca untuk merencanakan struktur jembatan *slab on pile*.
5. Sebagai pembelajaran dan pengetahuan berkaitan tentang struktur jembatan tipe *slab on pile*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

Sebagai penghubung jalur lintasan transportasi yang terpisah oleh sungai rawa, danau rawa, kanal, perlintasan rel kereta api maupun jalan raya dan persimpangan lainnya, diperlukan sebuah struktur penghubung yang disebut jembatan.

Supriyadi & Muntohar, (2007) menyatakan ada beberapa bentuk dan tipe jembatan, yaitu sebagai berikut :

1. Jembatan Lengkung Batu
2. Jembatan Rangka
3. Jembatan Gantung
4. Jembatan Beton
5. Jembatan Kabel

B. Definisi Slab on Pile

Konstruksi *slab on pile* merupakan struktur jembatan yang dibangun di atas tanah berupa kombinasi pondasi tiang pancang dan pelat dari beton dengan jarak antar pondasi tiang pancang saling berdekatan sesuai perencanaan dilapangan.

C. Pembebanan Slab on Pile

Dalam memperhitungkan beban jembatan sesuai SNI 1725:2016. Penerapan panduan ini akan membantu untuk mendapatkan suatu perencanaan yang lebih sesuai dengan kondisi lokal, tingkat kebutuhan, kapasitas, serta berbagai persyaratan teknis yang lain, sehingga perencanaan dapat menjadi lebih efektif.

1. Beban Permanen

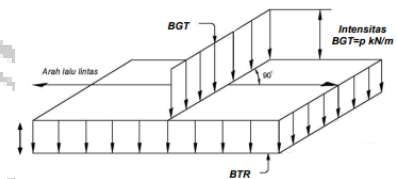
a. Berat Sendiri (MS)

- Beton Bertulang = $24,0 \text{ kN/m}^3$
- Beton Prategang = $25,0 \text{ kN/m}^3$
- Baja = $78,5 \text{ kN/m}^3$

b. Beban Mati Tambahan (MA)

- Aspal = $22,0 \text{ kN/m}^3$
- Barrier Road = $24,0 \text{ kN/m}^3$

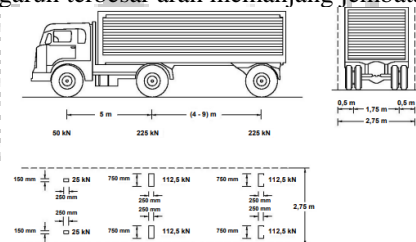
- Air Hujan = $9,8 \text{ kN/m}^3$
2. Beban Lalulintas
 - a. Beban Lajur (D)
 - Beban merata, q (BTR):
 $q = 9.0 \text{ kPa}$ untuk Panjang Jembatan ($L \leq 30$)
 $q = 9.0 * (0.5 + 15 / L) \text{ kPa}$ untuk $L > 30 \text{ m}$
 - Beban Garis Terpusat, p (BGT) mempunyai intensitas 49 kN/m



Gambar 1. Beban Lajur (D), terbagi merata (BTR) dan Terpusat (BGT) (SNI 1725:2016)

b. Beban Truk (T)

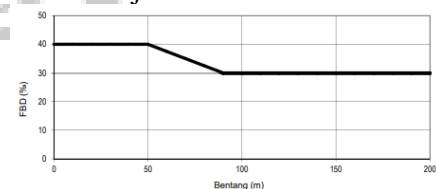
Pada SNI 1725:2016 digunakan truk semi trailer untuk beban truk. Dalam beban ini jarak as dapat di ubah dari 4m ke 9m untuk dapat pengaruh terbesar arah memanjang jembatan.



Gambar 2 Beban Truk (T) 500 kN (SNI 1725:2016)

c. Faktor Beban Dinamis

Beban jalur KEL "D" maupun truk "T" masing-masing diberi faktor beban dinamis (FBD) untuk mensimulasikan guncangan serta kendaraan yang bergerak pada struktur jembatan.



Gambar 3 Faktor Beban Dinamis untuk Beban Lajur (D) dan Beban Truk (T) (SNI 1725:2016)

d. Beban Rem (TB)

- Di ambil 25% dari berat desain atau,

- 5% dari berat rencana yang ditambah dengan nilai beban merata pada beban lajur

3. Beban Aksi Lingkungan

a. Beban Angin

Beban angin pada *slab on pile* di hitung sebagai beban angin transfer pada lantai jembatan sehingga beban angin sedikit berdampak pada struktur.

Saat merencanakan jembatan perlu diasumsikan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm

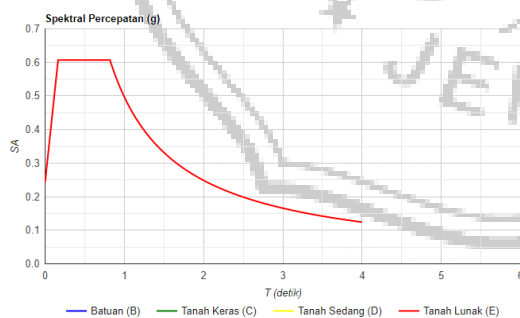
b. Pengaruh Temperatur

Memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperatur, diambil perbedaan temperatur yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur maksimum dan minimum.

$$AT = (T_{max} - T_{min})/2$$

c. Beban gempa

Dalam pembebanan gempa mengacu pada SNI 2833:2016 dengan probabilitas 7% dan jangka waktu 75 tahun atau kala ulang 1000 tahun yang meliputi percepatan pada puncak dasar batuan (PGA), respon spektra 0,2 detik, dan respon spectra 1 detik pada dasar batuan. Berdasarkan lokasi penelitian di dapatkan respon spectra sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik respon spektrum untuk kota Surabaya

Sumber : *puskim.pu.id*

D. Daya Dukung Pondasi

1. Daya Dukung Aksial/ verikal (Dv)

Adapun persamaan daya dukung aksial ultimate menurut Meyerhof,1976 yaitu :

$$Q_{ult} = Q_s + Q_p \quad (1)$$

Dari kapasitas daya dukung aksial ultimate maka kita bisa mendapatkan kapasitas daya dukung aksial izin sebagai berikut :

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{S_f} \quad (2)$$

Keterangan:

Q_{ult} = Kapasitas ukung ultimit tiang.

Q_p = Kapasitas dukung pada ujung tiang (*end bearing*) pada ujung pondasi

Q_s = Kapasitas dukung selimut tiang (*skin friction*) yang didapat dari gesekan tiang dan tanah

Q_{all} = Kapasitas dukung izin tiang pancang.

SF = Faktor keamanan (*safety factor*) yang digunakan.

a. Daya dukung gesek tiang (*skin friction*)

$$Q_s = N_{spt} \times A_s \quad (3)$$

Keterangan :

Q_s = Daya muat gesek tiang (kN)

A_s = $\pi \times D \times \Delta L$

Π = 3,14 (cm)

D = Diameter pondasi driven pile (cm)

Δ = Bentang kedalaman pile(m)

b. Daya dukung ujung tiang (*end bearing*)

$$Q_p = 40 + N_b + A_p$$

Keterangan :

Q_p = Daya muat batas pondasi tiang pancang (kN)

N_b = penjumlahan rata-rata nilai N-SPT di ujung tiang (dengan rata-rata nilai 8D 4D) (m²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

2. Daya Dukung Lateral/ horizontal (Dh)

Dalam penelitian ini perhitungan untuk daya dukung lateral menggunakan metode brom's, jenis tiang termasuk kriteria tiang panjang dengan asumsi tiang *flexible* (*Free head pile*).

E. Analisa Pegas Kv dalam arah vertikal dan Kh dalam arah mendatar

1. Konstanta Pegas Kv dalam arah vertical

Konstata pegas arah vertical (Kv) dipakai untuk menghitung besar penurunan elastis (elastic settlement). Konstata pegas arah vertical ini juga dapat menimbulkan pergeserandalam arah vertical pada kepala tiang. Suryono & Kazuto, (2000)

Untuk mencari nilai Konstanta Pegas K_v dalam arah vertikal menurut Nakazawa, n.d. dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut :

$$K_v = K_v = a \frac{A_P \cdot E_P}{l}$$

Tiang dari bahan pipa baja
 $a=0,027(1/D)+0,2$

Tiang dari beton pratekan (*Prestressed concrete*)
 $a=0,041(1/D)+0,27$

Tiang dari beton yang di cor di tempat
 $a=0,022(1/D)+0,05$

Keterangan :

A_P : Luas penampang netto dari tiang (cm²)

E_p : Modulus elastisitas tiang (kg/cm²)

l : Panjang tiang (cm)

D : Diameter tiang (cm)

Rumus di atas dapat dipakai bila $L/D \geq 10$

2. Konstanta Pegas K_h dalam arah mendatar

Untuk mencari nilai koefisien konstanta pegas untuk arah mendatar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$k = k_0 \cdot y^{-1/2}$$

$$k_0 = 0,2 \cdot E_0 \cdot D^{-3/4}$$

Keterangan :

k_0 : Nilai k yang disebabkan pergeseran pada permukaan yang di asumsikan sebesar 1cm (kg/cm³)

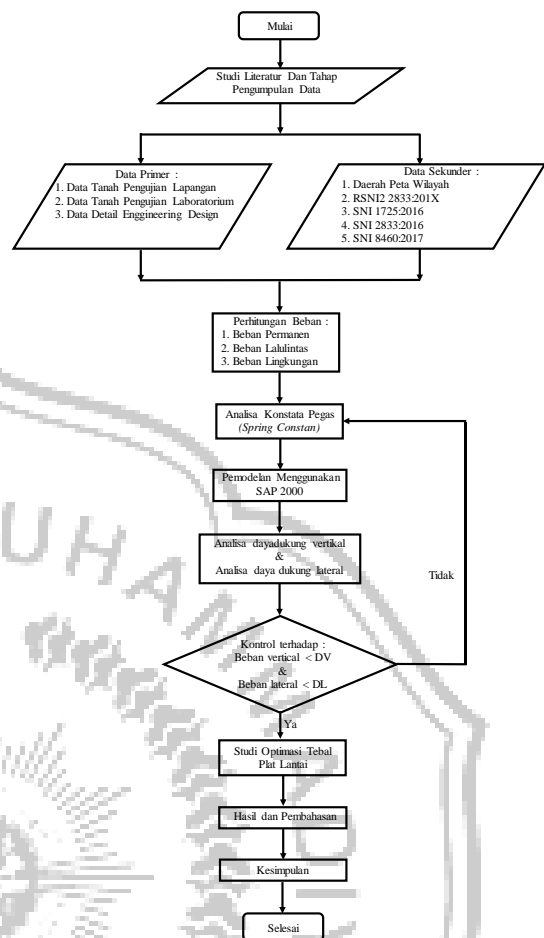
y : Nilai pergeseran yang di cari (cm)

E_0 : Modulus deformasi tanah pondasi, diperkirakan dengan $E_0 = 28 N$. dimana nilai N di dapatkan dari hasil SPT

D : Diameter tiang (cm)

3. METODOLOGI

Pada alur optimasi *slab on pile* dalam penelitian ini dapat ditampilkan dalam diagram alur penelitian (*flowchart*) seperti berikut :

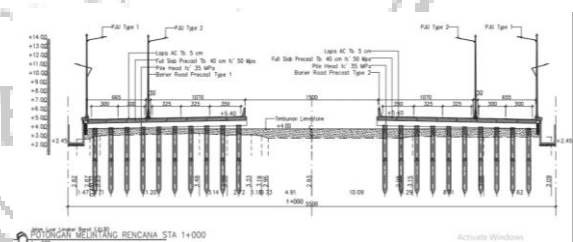


Gambar 5 Diagram Alur Penelitian

Sumber : Hasil penggambaran sendiri

4. ANALISA dan PEMBAHASAN

A. Data Slab on Pile



Gambar 6 Tampak Potongan Melintang Slab on Pile STA 1+000

Sumber : Data Proyek

- Nama Proyek : Jalan Lingkar Luar Barat- Surabaya
- Lokasi Proyek : Kel. Tambak Oso Wilangon dan Kel. Sememi, Kec. Benowo
- Panjang Pelat : 5 m
- Lebar Pelat : 18 m

- Panjang Bersih Pelat : 5 m
- Tebal Slab Jembatan : 0,40 m
- Tebal Aspal + Overlay: 0,05 m
- Genangan Air Hujan : 0,05 m
- Lebar Jalur Lalulintas : 16 m
- Jenis Pondasi : Pondasi Tiang Pancang
- Jarak Antar Pondasi : 1,8 m

B. Bahan Struktur

Tabel 1 Mutu Beton pada Pelat Lantai Jembatan

Mutu beton Slab (Precast):	K-	602,4	
Kuat tekan beton	$f_c =$	50,0	Mpa
Modulus elastisitas	$E_c =$	38007,0	Mpa
Angka poisson	$\mu =$	0,2	
Modulus geser	$G =$	16524,8	Mpa
Koefisien muai panjang	$\alpha =$	0,000010	

Sumber : Perhitungan, 2022

Tabel 2 Mutu Beton pada *Pile Head*

Mutu beton Plat lantai	K-	421,69	
Kuat tekan beton	$f_c =$	35,00	Mpa
Modulus elastisitas	$E_c =$	27805,57	Mpa

Sumber : Perhitungan, 2022

Tabel 3 Mutu Baja

Baja tulangan dengan $d > 12$ mm: U-	39	
Tegangan leleh baja, $f_y =$	390	Mpa
Baja tulangan dengan $d < 12$ mm, U-	24	
Tegangan leleh baja, $f_y =$	240	MPa

Sumber : Perhitungan, 2022

Tabel 4 *Specific Gravity* (Berat Jenis)

Berat beton prategang	$w_c =$	25	kN/m^3
Berat beton bertulang	$w'_c =$	24	kN/m^3
Berat aspal	$w_a =$	22	kN/m^3
Barat jenis air	$w_w =$	9,8	kN/m^3
Berat baja	$w_s =$	77	kN/m^3

Sumber : Perhitungan, 2022

C. Pembebanan Slab on Pile

Tabel 5 Rekap Hasil Pembebanan Slab on Pile

No	Jenis Beban	Beban	
1	Beban Permanen		
	Berat Sendiri (Q_{MS})		
	Berat sendiri otomatis tehitung pada SAP 2000	SAP 2000	
	Beban Mati Tambahan (Q_{MA})		
	Beban Tengah (aspal, air hujan)	1,59	kN/m
	Beban Tepi (aspal, air hujan, <i>barier road</i> , MEP)	10,09	kN/m
2	Beban Lalulintas		
	Beban (Q_{TD}) akibat beban lajur (D)	9	kN/m
	Beban (P_{TD}) akibat beban lajur (D)	68,60	kN
	Beban Truk (T)	140,00	kN
	Beban Rem (TB)	4,7	Kn
3	Beban Lingkungan		
	Beban Angin (Ew)	0,83	kN/m
	Pengatuh Temperatur (ET)	12,5	$^{\circ}\text{C}$
	Beban gempa dihitung SAP dengan input data respon spektrum	SAP 2000	

Sumber : Perhitungan, 2022

D. Kombinasi Pembebanan

Berikut kombinasi beban yang di pakai pada penelitian ini :

- Kombinasi Beban Dalam Keadaan Normal
 $Kuat I = 1,3 MS + 2 MA + 1,8 TD + 1,8 TB + 1,2 EUn$
- Kombinasi Beban Akibat Gempa
 Ekstrim I (EQ_x) = $1,3 MS + 2 MA + 0,3 TD + 0,3 TB + 1 EQ_x + 0,3 EQ_y$
 Ekstrim I (EQ_y) = $1,3 MS + 2 MA + 0,3 TD + 0,3 TB + 1 EQ_y + 0,3 EQ_x$
- Kombinasi Beban Akibat Layan
 Daya Layan I = $1 MS + 1 MA + 1 TD + 1 TB + 0,3 Ews + 1,2 EUn$
 Daya Layan II = $1 MS + 1 MA + 1,3 TD + 1,3 TB + 1,2 EUn$

E. Analisa Spring Constant Arah Vertikal dan Horizontal

- Konstata *Spring vertical*

$$K_v = 1,643 \times \frac{0,2826 \text{ m}^2 \times 345.598,58 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{28 \text{ m}}$$

$$K_v = 57.321 \text{ t/m}$$

- Konstata Sprig Horizontal

Berikut contoh perhitungan nilai spring arah horizontal pada kedalman 28 m (Ujung tiang)

$$k_0 = 0,2 \times 560 \times (60)^{-3/4}$$

$$= 5,195 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

$$k = 5,195 \times 1^{(-1/2)}$$

$$= 5,195 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

$$K_x = K_y = k \times D \times (L_2 - L_1)$$

$$= 5,195 \times 60 \times (28-27) \times 100=$$

$$= 3.117,14 \text{ t/m}$$

Hasil lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 6 Hasil Perhitungan Sesuai Konsistensi Tanah Konstata Pegas Arah Vertikal (Kv) dan Konstata Pegas Arah Mendatar, Kh (Kx = Ky)

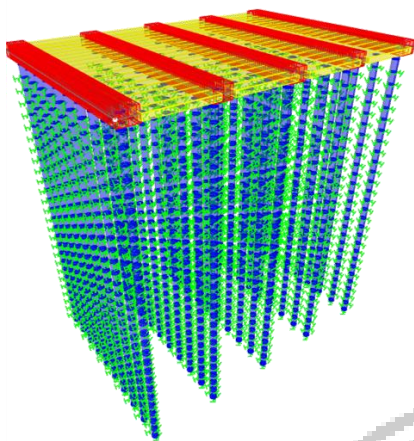
Depth (m)	Li (m)	N-SPT	Konsistensi Tanah	Rata-rata N SPT	Ap (m ²)	E0	a	K0 (kg/cm ³)	K (kg/cm ³)	kh kx=ky t/m	kv t/m
1	1	0	Sangat Lunak	1,9	0,283	52,5	1,643	0,487	0,487	8874,0	160498
2	1	0	Sangat Lunak								
3	1	1	Sangat Lunak								
4	1	1	Sangat Lunak								
5	1	2	Sangat Lunak								
6	1	2	Sangat Lunak								
7	1	2	Sangat Lunak								
8	1	2	Sangat Lunak								
9	1	2	Sangat Lunak								
10	1	3	Sangat Lunak								
11	1	4	Lunak	5,0	0,283	140,0	1,643	1,299	1,299	3944,0	114641
12	1	5	Lunak								
13	1	5	Lunak								
14	1	6	Lunak								
15	1	6	Medium	8	0,283	224	1,643	2,078	2,078	8874	69782
16	1	6	Medium								
17	1	7	Medium								
18	1	7	Medium								
19	1	7	Medium								
20	1	8	Medium								
21	1	8	Medium								
22	1	10	Medium								
23	1	13	Medium								
24	1	15	Kaku	17,8	0,283	499,3	1,643	4,6	4,632	5916,0	57321
25	1	16	Kaku								
26	1	16	Kaku								
27	1	17	Kaku								
28	1	20	Kaku								
29	1	23	Kaku								
30	1	26	Sangat Kaku	26,0	0,283	728,0	1,643	6,8	6,754	986,0	53499

Sumber : Perhitungan, 2022

F. Pemodelan pada SAP 2000

Setelah melakukan pengumpulan data, perhitungan serta pengolahan data, selanjutnya akan di aplikasikan ke dalam bentuk permodelan 3D dengan Software SAP 2000 v.22.1.0.

Berikut merupakan bentuk pemodelan *Slab on Pile* dengan tumpuan interaksi tanah menggunakan program aplikasi SAP 2000 V.22.1.0.



Gambar 7 Permodelan Slab on Pile Dengan Tumpuan Interaksi tanah (Tumpuan Pegas)
 Sumber : Hasil analisis SAP 2000

Dalam pemodelan *slab on pile* menggunakan tumpuan interaksi tanah yang bersifat pegas, digunakan nilai *springs constant* pada tiap 1 meter dengan menyesuaikan konstistensi tanah dari data SPT. Semakin dekat jarak *springs constant* yang digunakan akan memperoleh hasil yang lebih detail.

1. Langkah – langkah Pemodelan *springs constant*

a. Pemodelan letak *springs constant*
 Untuk pemodelan letak *springs constant*, dengan cara klik *define* → *Section properties* → *Link / support properties*. Kemudian pilih “Add New Property” lalu terdapat tulisan *Link / Support Type*, pilih “Linear” kemudian pilih *Fix All* pada *Directional Properties*; kemudian klik OK

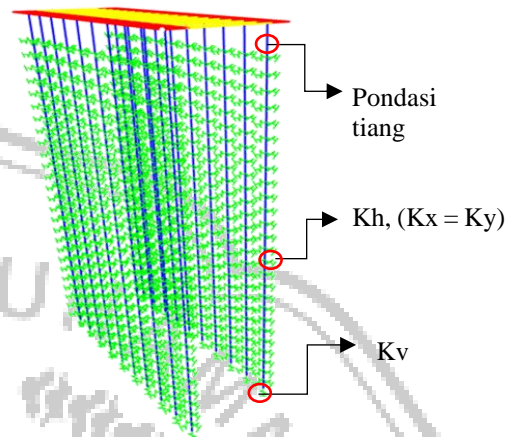
b. *Input data springs constant* dalam arah vertikal (K_v)

Untuk menginput *springs constant* dalam arah vertikal (K_v) dengan cara memilih semua *joint* pada ujung bawah tiang, lalu Klik *Assign* → *joint* → *spring*. Kemudian pilih Global pada “*Spring Coordinate System*” lalu masukkan nilai *springs* di *Traslation global Z*

c. *Input data springs constant* dalam arah horizontal, K_h ($K_x = K_y$)

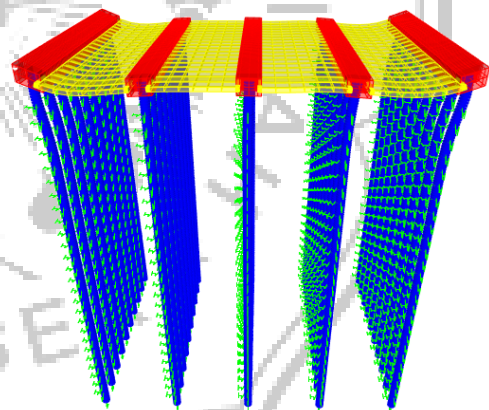
Untuk menginput *springs constant* arah mendatar atau horizontal, pilih *joint* pada kedalaman yang ditinjau sesuai lapis atau

sesi yang telah dihitung, kemudian Klik *Assign* → *joint* → *spring*. Kemudian pilih Global pada “*Spring Coordinate System*” lalu masukkan nilai *springs* di *Traslation global X* untuk arah X dan *Traslation global Y* untuk arah Y.

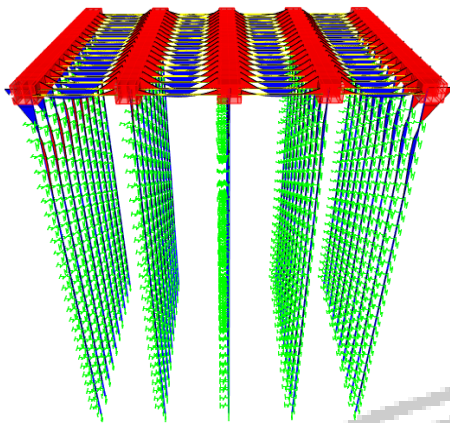


Gambar 8 Simulasi *springs constant* vertikal (K_v) dan Arah Mendatar atau horizontal, K_h ($K_x = K_y$)
 Sumber : Hasil analisis SAP 2000

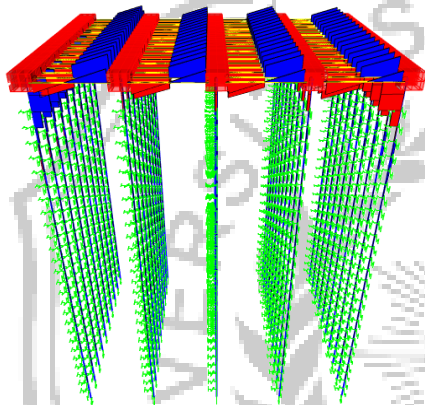
2. Reaksi Hasil Kombinasi Terbesar



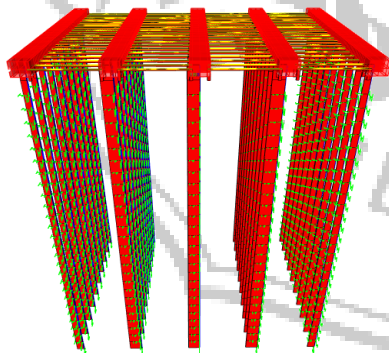
Gambar 9 Simulasi *springs constant* vertikal (K_v) dan Arah Mendatar atau horizontal, K_h ($K_x = K_y$)
 Sumber : Hasil analisis SAP 2000



Gambar 10 Reaksi Momen Kombinasi Kuat I
 Sumber : Hasil analisis SAP 2000



Gambar 11 Reaksi Geser Akibat Kombinasi Kuat I
 Sumber : Hasil analisis SAP 2000



Gambar 12 Reaksi Aksial Kombinasi Kuat I
 Sumber : Hasil analisis SAP 2000

G. Analisa Daya Dukung Vertikal Tiang Pancang

1. Spesifikasi Tiang Pancang

$$\begin{aligned} \text{Dimensi Penampang} &= 0,6 \times 0,6 \quad \text{m} \\ \text{Panjang Pondasi} &= 28 \quad \text{m} \\ \text{Luas Penampang} &= 1/4 \times \pi \times D^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1/4 \times 3,14 \times (0,6^2) \\ &= 0,2826 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling Penampang} &= \pi \times D \\ &= 3,14 \times 0,6 \\ &= 1,884 \quad \text{m} \\ \text{Jenis Pondasi} &= \text{Tiang Pancang} \\ &\quad \text{Lingkar} \end{aligned}$$

2. Daya dukung Vertikal Tiang

Perhitungan kekuatan pondasi tiang pancang dari hasil uji SPT (Meyerhoff). Daya dukung vertikal tiang pancang secara empiris dari nilai N hasil pengujian SPT, menurut Meyerhoff dinyatakan sebagai berikut :

Nilai N pada ujung tiang

$$N_1 = 20$$

- Nilai N rata-rata 8D dari ujung tiang keatas

$$\begin{aligned} 8D &= 8 \times 0,6 \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

Di dapat Nilai N Spt pada kedalaman 28 m – 5m = 23 m

$$\text{sebesar } N = 13$$

- Nilai N rata-rata 3D dari ujung tiang kebawah

$$\begin{aligned} 3D &= 3 \times 0,6 \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Di dapat Nilai N Spt pada kedalaman 28 m + 5m = 30 m

$$\text{sebesar } N = 26 \text{ m}$$

- Nilai N rata-rata

$$\begin{aligned} N &= (13 + 26) / 2 \\ &= 19,5 \end{aligned}$$

- Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 \times N\text{-SPT} \times A_p \\ &= 40 \times 19,5 \times 0,2826 \\ &= 220,4 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Gaya gesek pada keliling tiang

$$\begin{aligned} \text{Untuk tanah lempung digunakan } 0,5 \\ F &= 0,5 \times N \text{ SPT} \\ &\quad (\text{pada tiap kedalaman}) \\ &= 0,5 \times 20 \end{aligned}$$

(Contoh N SPT kedalaman 28 m) = 10

- Daya dukung gesek tiang

$$\begin{aligned} Q_{si} &= A_s \times l_i \times f \\ &= 1,884 \times 1 \times 10 \\ &= 18,84 \end{aligned}$$

- Daya dukung ultimit

$$Q_{ult} = Q_p + \sum Q_{si}$$

$$= 220,4 + 179,92$$

$$= 400,35 \text{ ton}$$
 - Daya Dukung Ijin

$$Q_{all} = (Q_p + \sum Q_{si}) / S_f$$

$$= (220,4 + 179,92) / 3$$

$$= (400,35) / 3$$

$$= 133,45 \text{ ton}$$
 - Efisiensi Tiang Pancang

$$\phi = \tan^{-1} x \frac{D}{5}$$

$$= \tan^{-1} x \frac{0,6}{1,8}$$
- $= 18,435$
 $E_g = 1 - (\phi \times \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn})$
 $= 1 - (18,435 \times \frac{(1-1)10 + (10-1) \times 1}{90 \times 10 \times 1})$
 $= 0,81565$
- Daya Dukung Tiang Pancang

$$Q = Q_{all} \times E_g$$

$$= 133,45 \times 0,81565$$

$$= 108,85 \text{ ton}$$
- Maka didapat daya dukung vertical (Dv) sebesar 108,85 ton. Untuk hasil lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Sesuai Konsistensi Tanah Konstata Pegas Arah Vertikal (Kv) dan Konstata Pegas Arah Mendatar, Kh (Kx = Ky)

Depth (m)	Li (m)	N-SPT	Konsistensi Tanah	8D	3D	Rata-rata N	Qp (ton)	f	Qsi	Qu=(Qp+Qsi)	Qa=(Qp+Qsi)/3		
1	1	0	Sangat Lunak					0	0				
2	1	0	Sangat Lunak					0	0				
3	1	1	Sangat Lunak					0,5	0,942				
4	1	1	Sangat Lunak					0,5	0,942				
5	1	2	Sangat Lunak					1	1,884				
6	1	2	Sangat Lunak					1	1,884				
7	1	2	Sangat Lunak					1	1,884				
8	1	2	Sangat Lunak					1	1,884				
9	1	2	Sangat Lunak					1	1,884				
10	1	3	Lunak					1,5	2,826				
11	1	4	Lunak					2	3,768				
12	1	5	Lunak					2,5	4,71				
13	1	5	Lunak					2,5	4,71				
14	1	6	Medium	5	2	19,5	220,4	3	5,652	400,35	133,45		
15	1	6	Medium					3	5,652				
16	1	6	Medium					3	5,652				
17	1	7	Medium					3,5	6,594				
18	1	7	Medium					3,5	6,594				
19	1	7	Medium					3,5	6,594				
20	1	8	Medium					4	7,536				
21	1	8	Medium					4	7,536				
22	1	10	Medium					5	9,42				
23	1	13	Kaku					6,5	12,246				
24	1	15	Kaku					7,5	14,13				
25	1	16	Kaku					8	15,072				
26	1	16	Kaku					8	15,072				
27	1	17	Kaku					8,5	16,014				
28	1	20	Kaku					10	18,84				
29	1	23	Sangat Kaku										
				Jumlah							179,922		
30	1	26	Sangat Kaku										

Sumber : Perhitungan, 2022

2. Kontrol Beban Hasil SAP Terhadap Daya Dukung Vertikal Tiang

Q (Hasil SAP 2000) = 694,467 kN
 = 694,467 x 0,102
 = 70,84 ton

Kontrol Daya Dukung vertical (Dv) :
 Q Hitung > Q (Hasil SAP 2000)
 108,85 ton > 70,84 ton (**Memenuhi**)

H. Daya Dukung Lateral, Horizontal (Dh)

Data Tanah :

$$\begin{aligned} \text{N-SPT} &= 19,5 \\ \text{Cu} &= 0,5 \times \text{N-SPT} \\ &= 0,5 \times 19,5 \\ &= 9,75 \text{ ton} \\ \text{Es} &= 50 \times \text{cu} \\ &= 50 \times 9,75 \\ &= 487,5 \\ \mu_s &= 0,3 \\ k &= \frac{E_s}{1-\mu_s^2} \\ &= \frac{487,5}{1-0,3^2} \\ &= 535,71 \end{aligned}$$

Data Bahan Pondasi :

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan beton } f'c &= 52 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan ijin beton } f_c &= 0,3 \times f'c \times 1000 \\ &= 0,3 \times 52 \times 1000 \\ &= 15600 \text{ kPa} \\ \text{Modulus elastik } E_p &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{52} \\ &= 33892,2 \text{ Mpa} \\ &= 33892182 \text{ Kpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia Tiang } I_p &= \frac{1}{64} \times \pi \times D^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,6^4 \\ &= 0,0063585 \\ E_p \times I_p &= 3389218 \times 0,0063585 \\ &= 215503,44 \end{aligned}$$

Menentukan Tiang Panjang atau Pendek

$$\begin{aligned} R &= \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k}} \\ R &= \sqrt[4]{\frac{215503,44}{535,71}} \\ R &= 4,478 \end{aligned}$$

Panjang Pondasi Tiang = 28 m

$$\begin{aligned} \text{Tiang Panjang, } 3,5 R &= 3,5 \times 4,478 \\ &= 15,6747 \end{aligned}$$

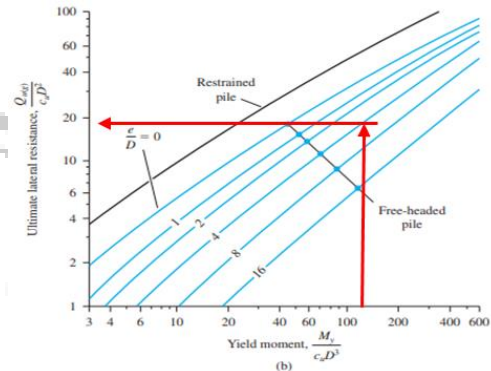
$$\begin{aligned} \text{Tiang Pendek, } 2 R &= 2 \times 4,478 \\ &= 8,9570 \end{aligned}$$

$$\text{nilai } L \geq 3,5 R = 28 \geq 15,6747$$

Karena tinggi tiang pancang 28 meter berada di $L \geq 3,5 R$ maka, tiang diasumsikan sebagai tiang panjang. Tiang diasumsikan *Elastic (Free head)* pile yang ujungnya bebas.

$$\text{Mcrack} = 290 \text{ t.m}$$

$$\begin{aligned} \text{Cu} &= 9,75 \\ D^3 &= 0,6^3 \\ &= 0,216 \\ \text{Yield Moment} &= \frac{My}{C_u D^3} \\ &= \frac{290}{9,75 \times 0,216} \\ &= 137,702 \end{aligned}$$



Gambar 13 Grafik Tiang Panjang

$$\text{Ultimate Lateral Resistance, } \frac{Q_{ult}}{C_u D^2} \approx 19$$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= 19 \times C_u \times D^2 \\ &= 19 \times 9,75 \times 0,6^2 \\ &= 66,69 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka didapat nilai daya dukung lateral (Dh) sebesar 66,69 ton.

Kontrol Beban Lateral Hasil SAP terhadap daya dukung lateral/ horizontal.

$$\begin{aligned} Q \text{ (Hasil SAP 2000)} &= 219,111 \text{ kN} \\ &= 219,111 \times 0,102 \\ &= 22,35 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kontrol Daya Dukung Lateral (Dh) :

$$\begin{aligned} Q_{ug} \text{ Hitung} &> Q \text{ (Hasil SAP 2000)} \\ 66,69 \text{ ton} &> 22,35 \text{ ton (Memenuhi)} \end{aligned}$$

I. Studi Optimasi Tebal Pelat Lantai Pada Slab on Pile

1. Derajat Optimasi Akibat Perubahan Tebal Pelat

Tebal Plat pada struktur *Slab on Pile* sebelum di analisa menggunakan tumpuan interaksi tanah menggunakan tumpuan *spring* yaitu 0,4 m, setelah dilakukan optimasi struktur *Slab on Pile* menggunakan tumpuan interaksi tanah (tumpuan *spring*) dengan variasi tebal pelat 0,35 m, 0,30 m, dan 0,25 m . Berikut

contoh nilai derajat optimasi perubahan tebal pelat untuk tebal plat 0,25 m yaitu :

$$\frac{\text{Tebal pelat existing} - \text{Tebal pelat } 0,25}{\text{Tebal pelat existing}} \times 100\%$$

$$\frac{0,4 - 0,25}{0,4} \times 100\% = 37,5 \%$$

Maka contoh derajat optimasi perubahan tebal plat 0,25m yang di dapat sebesar 37,5 %.

Untuk hasil perhitungan derajat optimasi perubahan tebal plat lebih lengkap sesuai dengan variasi ketebalan pelat dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 14.

2. Hubungan Tebal Pelat dengan Rasio Tulangan

Untuk rasio luas tulangan pada ketebalan pelat awal 0,40 m memiliki nilai (As_1) pada tulangan lapangan sebesar 2.110 mm, tulangan tumpuan dengan (As_1) sebesar 1829 mm. Sedangkan untuk rasio luas tulangan setelah dilakukan optimasi dengan pengambilan contoh untuk ketebalan pelat 0,25 m didapatkan nilai (As_2) pada tulangan lapangan sebesar 3.462 mm, tulangan tumpuan dengan nilai (As_2) sebesar 3384 mm. Dengan melihat data tersebut rasio tulangan akibat perubahan ketebalan plat yaitu :

$$\frac{As_2 - As_1}{As_1} \times 100\%$$

$$\text{Tulangan Lapangan} = \frac{3462 - 2.110}{2.110} \times 100\% = 64,08 \%$$

$$\text{Tulangan Tumpuan} = \frac{3.385 - 1.829}{1.829} \times 100\% = 85,07 \%$$

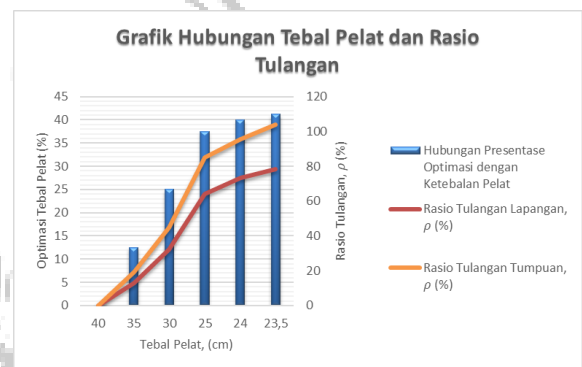
Dari hasil analisa di atas dapat di lihat bahwa tebal pelat existing sebesar 0,4 m dan ketebalan setelah di optimasi sebesar 0,25 m didapatkan penambahan rasio tulangan yaitu untuk tulangan lapangan sebesar 64,08 % dan untuk tulangan tumpuan sebesar 85,07 %.

Untuk hasil perhitungan penambahan rasio tulangan akibat perubahan tebal pelat lebih lengkap sesuai dengan variasi ketebalan pelat dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 14

Tabel 8 Hubungan Tebal Pelat dan Rasio Tulangan

Tebal Pelat cm	Optimasi Tebal Pelat (%)	Rasio tulangan Lapangan (%)	Rasio tulangan tumpuan (%)
40	0,00	0,00	0,00
35	12,50	13,13	19,19
30	25,00	32,37	44,89
25	37,50	64,08	85,07
24	40,00	73,22	95,63
23,5	41,25	78,29	103,72

Sumber : Perhitungan, 2022



Gambar 14 Hubungan Tebal Pelat dan Rasio Tulangan

Sumber : Pengolahan Data, 2022

3. Optimasi Tebal Pelat Beton

a) Data Harga Besi dan Beton JLLB Surabaya

- Harga Besi : Rp15.175,00 / kg
- Harga Beton : Rp1.283.410,00 / m³

b) Harga Volume Besi / m³ Beton

Nilai optimasi ketebalan bisa di dapatkan melalui perbandingan antara harga volume dan harga beton. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk nilai harga volume besi / m³ beton untuk ketebalan pelat 0,25 m.

- Selisih Volume Pelat / m³
 = Volume Pelat existing – Volume Pelat
 = 0,25 m³
 = 0,4m³ – 0,25 m³
 = 0,15 m³ (Volume Beton Menurun 15 cm)
- Selisih Luas Tulangan
 = luas tulangan pelat 0,25 m – Luas tulangan pelat existing

Tulangan Tumpuan
 = $3385 \text{ mm}^2 - 1829 \text{ mm}^2$
 = 1556 mm^2
 = $0,00156 \text{ m}^2$

Tulangan Lapangan
 = $3462 \text{ mm}^2 - 2110 \text{ mm}^2$
 = 1352 mm^2
 = $0,001352 \text{ m}^2$

- Berat Volume Besi
 = Berat Jenis Besi x Selisih Luas Tulangan

Tulangan Tumpuan
 = $7.860 \times 0,00156$
 = $12,23016 \text{ kg/m}$

Tulangan Lapangan
 = $7.860 \times 0,001352$
 = $10,62672 \text{ kg}$

- Volume Besi / m^3 Beton
 = Berat volume besi / Selisih tebal pelat

Tulangan Tumpuan
 = $12,23016 \text{ kg} / 0,15 \text{ m}^3$
 = $81,53 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ beton}$

Tulangan Lapangan
 = $10,62672 \text{ kg} / 0,15 \text{ m}^3$
 = $70,84 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ beton}$

Rata – rata
 = $(81,53 + 70,84) / 2$
 = $76,19 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ beton}$

- Harga Volume Besi / m^3 Beton
 = $\frac{\text{Volume Besi} / \text{m}^3 \text{ Beton}}{\text{Harga Besi} / \text{kg}}$

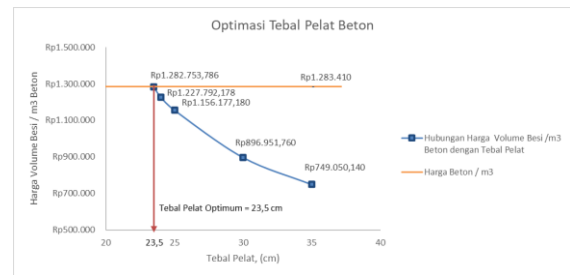
= $76,19 / \text{Rp}15.175,00$
 = $\text{Rp}1.156.177,180$

Untuk hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel dan gambar grafik di bawah.

Tabel 9 Optimasi Tebal Pelat

Tebal Pelat	Harga Volume besi/ m^3 beton	Harga Beton/ m^3
23,5	Rp1.282.753,786	Rp1.283.410
24	Rp1.227.792,178	Rp1.283.410
25	Rp1.156.177,180	Rp1.283.410
30	Rp896.951,760	Rp1.283.410
35	Rp749.050,140	Rp1.283.410

Sumber : Perhitungan, 2022



Gambar 15 Grafik Optimasi Tebal Pelat
 Sumber : Pengolahan Data, 2022

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai ketebalan pelat optimum yaitu sebesar 23,5 cm atau 0,235 m

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil percobaan yang telah di lakukan dan juga penelitian serta perhitungan yang telah di buat, maka di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan nilai *springs constant* untuk arah vertical (K_v) pada ujung tiang pancang, yaitu pada kedalaman 28 m didapat nilai 57.321 ton. Sedangkan untuk nilai *springs constant* untuk arah mendatar atau horizontal (K_h) pada tiap kedalaman tiap 1 meter dengan pengelompokan nilai sesuai jenis konsistensi tanah yaitu : kedalaman 1-10 meter, merupakan tanah sangat lunak dengan nilai (K_h) 8.874 ton, kedalaman 11-14 meter, merupakan tanah lunak dengan nilai (K_h) 3.944 ton, kedalaman 15-23 meter, termasuk tanah medium dengan nilai (K_h) 8.874 ton, serta pada kedalaman 24-28 meter, termasuk tanah kaku dengan nilai (K_h) 5.916 ton. Berdasarkan Hasil perhitungan melalui tahap kontrol untuk daya dukung pondasi tiang pancang pada arah vertical (D_v) dan Daya dukung Lateral / Horizontal (D_h) dengan kombinasi Kuat I diperoleh hasil memenuhi / aman.
2. Derajat optimasi dari analisa dan perhitungan untuk ketebalan pelat pada struktur *Slab on Pile* didapat ketebalan optimum 23,5 cm atau 0,235 m dengan nilai optimasi yaitu 41,25 % dan di dapatkan penambahan rasio tulangan yaitu

untuk tulangan lapangan sebesar 78,29 % dan untuk tulangan tumpuan sebesar 103,72 %.

B. Saran

1. Perlu adanya studi literatur untuk mengatur jarak antar *spring* terhadap nilai optimasi.

6. DAFTAR PUSTKA

- Academia. (2008). Perhitungan Slab Lantai Jembatan (Jembatan Srandakan Kulon Progo D.I.Yogyakarta).
https://www.academia.edu/35130861/PERHITUNGAN_SLAB_LANTAI_JEMBATAN
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016a). SNI 1725:2016 Standar pembebanan untuk jembatan.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016b). SNI 2833: 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI. 1–70.
- Bowles, J. E. (1997). Foundation Analysis and Design International Fifth Edition. In Civil Engineering Materials.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik). Penerbit Erlangga, 1–300.
- Das, B. M. (2015). Principle Of Foundation Engineering, Edisi 7,. In Cengage Learning (Vol. 7, Issue 1).
- Dewi, I. C., & Priyono, P. (2018). Analisa Desain Fly Over Dan Slab on Pile Pada Perencanaan Jalan Lingkar Barat Kota Surabaya. Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon, 3(2).
<https://doi.org/10.32528/hgn.v3i2.3215>
- Fikri, H. (2018). Buku Ajar Gambar Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan. 134.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). Teknik Pondasi 1 Edisi Kedua. In Gramedia Pustaka Utama. Gramedia Pustaka Utama.
- Husnah. (2013). Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Pondasi Tissue Block 5 & 6. 73.
- Kontruksiana.com. (2016). Penetrasi Beton Pracetak dan Prategang Baru Mencapai 18,6 Persen. Kontruksiana.Com.
<https://www.konstruksiana.com/2016/09/penetrasi-beton-pracetak-dan-prategang.html>
- Lubis, A. F. (2019). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Secara Analitis Dan Numeris Pada Proyek Jalan Tol Medan - Binjai Seksi IA Jembatan Sei Deli STA 1+600.
- Pagehgiri, J. (2015). Analisis Penggunaan Pondasi Mini Pile Pondasi Borpile Terhadap Biaya Dan Waktu Pelaksanaan Pembangunan Ruang Kelas SMPN 10 Denpasar. 8(1).
- Paulus, P. . (2016). Buku Manual Pondasi Tiang. Universitas Katolik Parahyangan.
- PUPR, K. (2020). Petunjuk Konstruksi Jembatan (Buku Saku Konstruksi Jembatan) (Issue April).
- Sinaga, N. (2019). Jembatan di Sumut akan Pakai Teknologi Cable Stayed, Lebih Aman dan Indah.
<https://medan.tribunnews.com/2019/11/28/jembatan-di-sumut-akan-pakai-teknologi-cable-stayed-lebih-aman-dan-indah>
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). Jembatan (Edisi Pertama) Cetakan Ke-4. 1–244.
- Suryono, S., & Kazuto, N. (2000). Mekanika Tanah & Teknik Pondasi. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Takaredase, J. M. (2016). Tinjauan Perencanaan Pondasi Metode Pelaksanaan Pada Pembangunan Gedung Auditorium Politeknik Negeri Manado.