

DESAIN STRUKTUR SLAB ON PILE

Akbar Kurniadi, Imam Faizal Rosyidin, Himawan Indarto ^{*)}, Indrastono Dwi Atmono ^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Jalan Sebelimbingan – Martadipura mempunyai panjang 2,8 km, dibangun di Kecamatan Kota Bangun, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Trase jalan harus melewati daerah dengan kondisi tanah yang sangat lunak. Pada saat musim penghujan, lokasi trase jalan ini tergenang air. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuat jembatan dengan menggunakan struktur Slab on Pile. Struktur Slab on Pile terdiri dari slab, pile head dan pondasi tiang pancang. Standar pembebanan pada struktur mengacu pada SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan). Permodelan pondasi tiang pancang menggunakan model tumpuan pegas elastis, yang dapat merepresentasikan daya dukung pondasi tiang pancang.

kata kunci : *Jembatan, perencanaan, slab on pile, struktur, tiang pancang*

ABSTRACT

Sebelimbingan – Martadipura road has a length of 2.8 km, it was built in the sub-district of Kota Bangun, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan. Trace of the road must pass through areas with very soft soil condition. During the rainy season, the location of alignment in this road flooded. To overcome these problems then built bridge using Slab on Pile structure. Slab on Pile structure consisting of slab, pile head and pile foundation. Loading standart on the structure refers to the SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan). Modeling of pile foundation used elastic spring reaction model, which can represent the bearing capacity of pile foundation.

keywords: *Bridge, design, slab on pile, structure, pile*

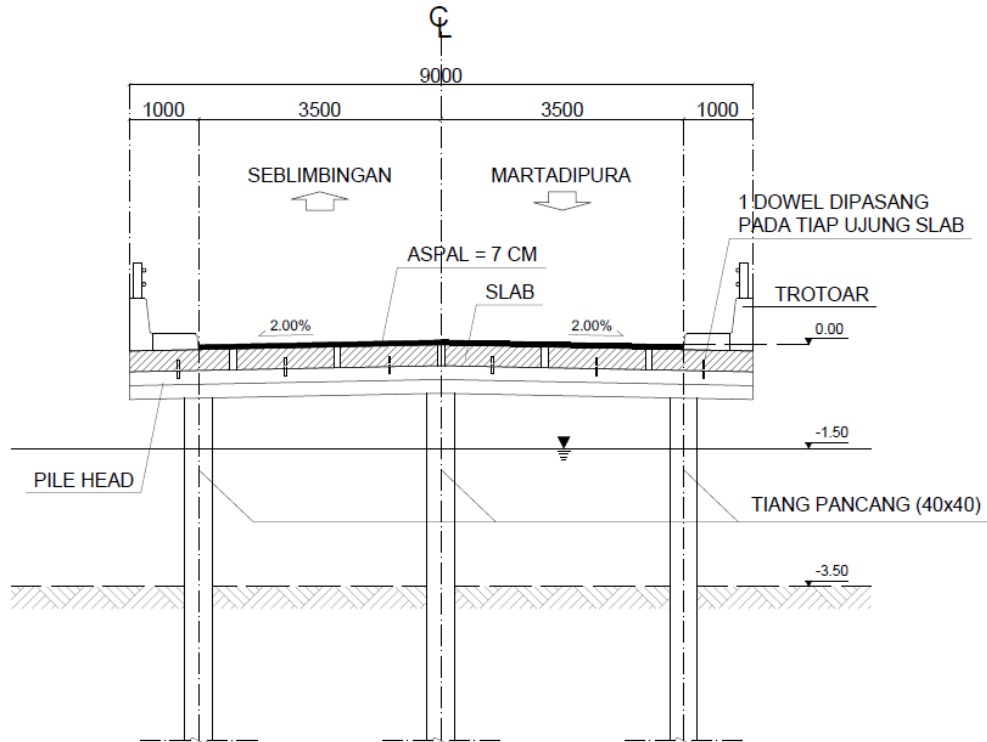
PENDAHULUAN

Jalan Sebelimbingan – Martadipura mempunyai panjang lebih kurang 2,8 km, dibangun di Kecamatan Kota Bangun, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Trase jalan harus melewati daerah dengan kondisi tanah yang sangat lunak. Pada saat musim penghujan, lokasi trase jalan ini tergenang air. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dibuat jembatan dengan menggunakan struktur *Slab on Pile*.

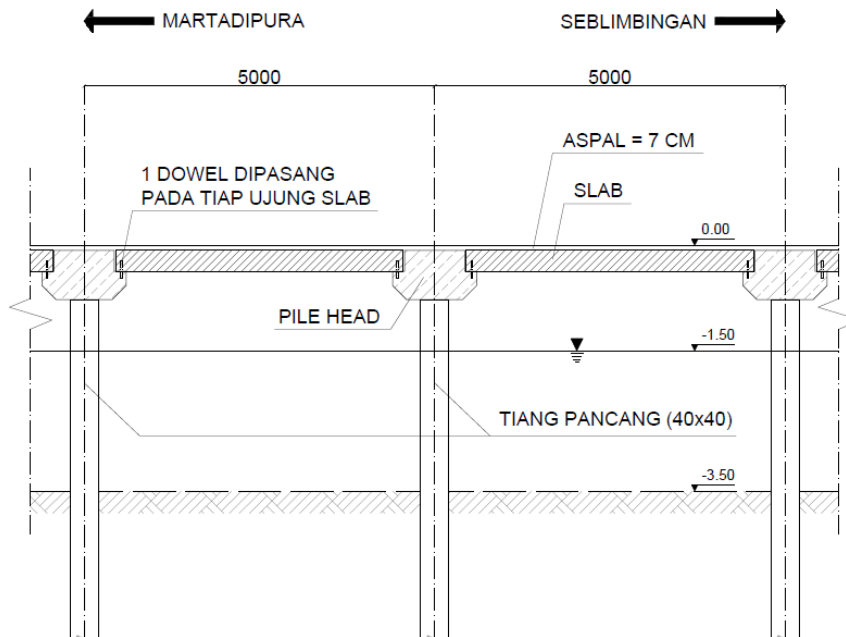
Maksud dan tujuan dari desain struktur jembatan ini adalah untuk memperluas wawasan dalam upaya penguasaan ilmu rekayasa sipil khususnya desain struktur *Slab on Pile*.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Struktur pada *Slab on Pile* terdiri dari *slab* (pelat), *pile head* dan tiang pancang. Konsep perencanaan struktur jembatan harus tahan terhadap gempa, sehingga diharapkan struktur tidak mengalami kegagalan struktur apabila terjadi gempa ringan, sedang, ataupun kuat.



Gambar 1. Potongan melintang *Slab on Pile*



Gambar 2. Potongan memanjang *Slab on Pile*

METODOLOGI

Pengumpulan Data

Data teknis yang didapat untuk kepentingan proses perencanaan struktur *Slab on Pile* adalah sebagai berikut:

- Data tanah
- Data Jembatan

Analisa Dan Perhitungan

Tahapan perencanaan dan analisis perhitungan beserta acuannya dalam perencanaan struktur *Slab on Pile* adalah sebagai berikut:

- Analisa keadaan serta kondisi tanah.
- Penentuan dimensi elemen struktur.
- Penentuan beban – beban yang bekerja pada struktur baik beban gravitasi / vertikal maupun beban gempa / lateral.
- Permodelan tumpuan pondasi tiang pancang.
- Desain elemen struktur seperti *slab* (pelat), *pile head* dan tiang pancang.
- Pembuatan gambar desain.

Standar Yang Digunakan

Untuk keperluan perencanaan struktur *Slab on Pile*, digunakan standar struktur yang berlaku di Indonesia, yaitu:

- Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI T-02-2005).
- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012) .
- Indonesian Bridge Management System (IBMS, 1992).

ANALISIS DATA TANAH

Untuk mengetahui kemampuan daya dukung tiang pancang (40x40)cm 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. Besarnya nilai N-SPT rata-rata adalah: $N_r = 8.42$.

PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

Pembebanan pada struktur mengacu pada SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan).

Kombinasi Pembebanan Struktur

Menurut SNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Untuk Jembatan), kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan adalah kombinasi pembebanan pada kondisi layan kombinasi pembebanan pada kondisi ultimit.

Tabel 1. Beban-beban pada struktur *Slab On Pile* dan faktor beban yang sesuai

Pembebanan Pada Struktur <i>Slab on Pile</i>	Simbol Beban	Faktor Beban	
		Kondisi Layan	Kondisi Ultimit
Beban mati (berat <i>Slab, Pile head</i> , tiang pancang)	P_{MS}	1,0	1,2
Beban mati tambahan (aspal tebal 7cm, barrier & pipa sandaran)	P_{MA}	1,0	2,0
Beban pejalan kaki di trotoar	T_{TP}	1,0	1,8
Gaya akibat pengereman kendaraan	T_{TB}	1,0	1,8
Gaya sentrifugal pada tikungan	T_{TR}	1,0	1,8
Gaya akibat tumbukan	T_{TC}	1,0	1,0
Beban Lajur D : Beban Terbagi Rata (BTR)	T_{TD}	1,0	1,8
Beban Lajur D : Beban Garis Terbagi Rata (BGT)	T_{TD}	1,0	1,8
Beban gempa	T_{EQ}	1,0	1,0

Sumber: SNI T-02-2005

Tabel 2. Kombinasi pembebanan yang dihitung pada kondisi layan

Kombinasi Pembebanan	Faktor beban x Beban yang bekerja pada Struktur
1	$U = 1,0.(P_{MS}) + 1,0.(P_{MA}) + 1,0.(T_{TP}) + 1,0.(T_{TD})$
2	$U = 1,0.(P_{MS}) + 1,0.(P_{MA}) + 1,0.(T_{TP}) + 1,0.(T_{TD}) + 1,0.(T_{TR})$
3	$U = 1,0.(P_{MS}) + 1,0.(P_{MA}) + 1,0.(T_{TP}) + 1,0.(T_{TD}) + 1,0.(T_{EQ})$
4	$U = 1,0.(P_{MS}) + 1,0.(P_{MA}) + 1,0.(T_{TP}) + 1,0.(T_{TD}) + 1,0.(T_{TC})$

Sumber: SNI T-02-2005

Tabel 3. Kombinasi pembebanan yang dihitung pada kondisi ultimit

Kombinasi Pembebanan	Faktor beban x Beban yang bekerja pada Struktur
1	$U = 1,2.(P_{MS}) + 2,0.(P_{MA}) + 1,8.(T_{TP}) + 1,8.(T_{TD})$
2	$U = 1,2.(P_{MS}) + 2,0.(P_{MA}) + 1,8.(T_{TP}) + 1,8.(T_{TD}) + 1,8.(T_{TR})$
3	$U = 1,2.(P_{MS}) + 2,0.(P_{MA}) + 1,8.(T_{TP}) + 1,8.(T_{TD}) + 1,0.(T_{EQ})$
4	$U = 1,2.(P_{MS}) + 2,0.(P_{MA}) + 1,8.(T_{TP}) + 1,8.(T_{TD}) + 1,8.(T_{TC})$

Sumber: SNI T-02-2005

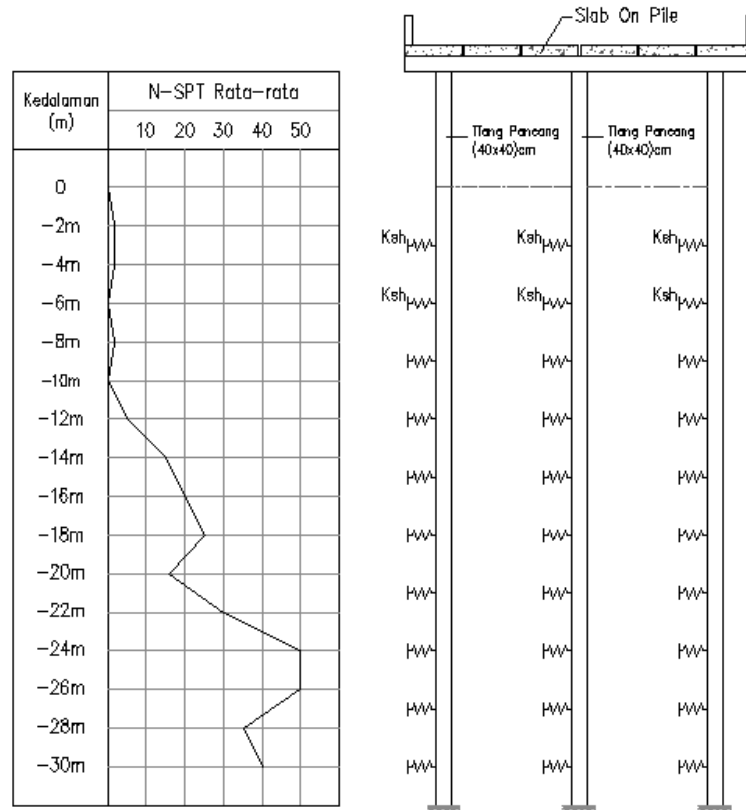
PERMODELAN TUMPUAN PONDASI TIANG PANCANG

Untuk keperluan analisis struktur, digunakan model tumpuan pegas elastis, yang merepresentasikan daya dukung pondasi tiang pancang. Besarnya reaksi yang dapat didukung oleh tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan pegas elastis, tergantung dari besarnya gaya pegas dari tumpuan yang bersangkutan. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban tergantung dari besarnya *modulus of subgrade reaction* (ks) dari tanah. Besarnya ks berlainan untuk setiap jenis

tanah. Besarnya *modulus of subgrade reaction* ke arah vertikal (k_{sv}) dapat ditentukan dari besarnya daya dukung tanah yang diijinkan (q_a), yaitu:

$$k_{sv} = 40 \cdot (SF) \cdot q_a \text{ (kN/m}^3\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana SF adalah angka keamanan (*safety factor*), dan q_a dalam satuan kPa (kN/m²).



Gambar 3. Nilai N-SPT dan model tumpuan elastis pada tiang pancang

Jika digunakan angka kermanan (SF) = 3, maka besarnya *modulus subgrade reaction* tanah dalam arah vertikal adalah : k_{sv} = 120.q_a (Analisis Dan Desain Pondasi, J.E Bowles, Penerbit Erlangga, 1989). Besarnya *modulus subgrade reaction* tanah dalam arah horisontal adalah : k_{sh} = 2.(k_{sv}). Menurut Meyerhof (1965), hubungan antara daya dukung tanah yang diijinkan (q_a) dengan nilai N-SPT, dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$q_a = (N/8) \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

dimana q_a dalam satuan kg/cm².

PERHITUNGAN STRUKTUR

Analisis Struktur

Deformasi maksimum pada struktur *Slab on Pile*, dan momen lentur maksimum pada tiang pancang akibat kombinasi pembebanan pada kondisi layan, dicantumkan pada Tabel 4.

Momen lentur yang maksimum pada *pile head* dan tiang pancang akibat kombinasi pembebanan pada kondisi ultimit, dicantumkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Deformasi horisontal dan momen lentur (kondisi layan)

Kombinasi Pembebanan	Deformasi Maksimum Pada Struktur Slab On Pile		Gaya-gaya Dalam Maksimum Pada Tiang Pancang	
	Vertikal (cm)	Horisontal (cm)	Momen (t-m)	Geser (ton)
1	-0,54	0	1,61	0,32
2	-0,54	+1,40	5,78	1,61
3	-0,38	+2,13	7,23	2,14
4	-0,37	+1,17	5,10	2,68

Tabel 5. Momen dan gaya geser pada *pile head* dan tiang pancang (kondisi ultimit)

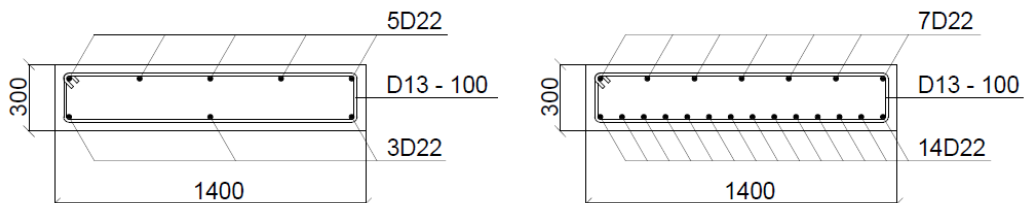
Kombinasi Pembebanan	Gaya-gaya Dalam Maksimum Pada Pile Head			Gaya-gaya Dalam Maksimum Pada Tiang Pancang	
	Momen Positif (t.m)	Geser (ton)	Momen Negatif (t.m)	Momen (t-m)	Geser (ton)
1	11,12	22,57	-3,70	2,73	0,55
2	11,33	26,89	-8,45	10,24	2,86
3	11,39	26,10	-7,76	9,15	2,53
4	10,34	25,80	-7,65	8,93	4,46

Perencanaan Struktur Atas

Struktur atas yang terdiri dari *Pile head* dan *slab*, direncanakan dari beton bertulang, dengan mutu beton K.350 (f_c' 29 MPa) dan baja tulangan ulir dengan mutu f_y 400 MPa.

Perhitungan Tulangan Slab

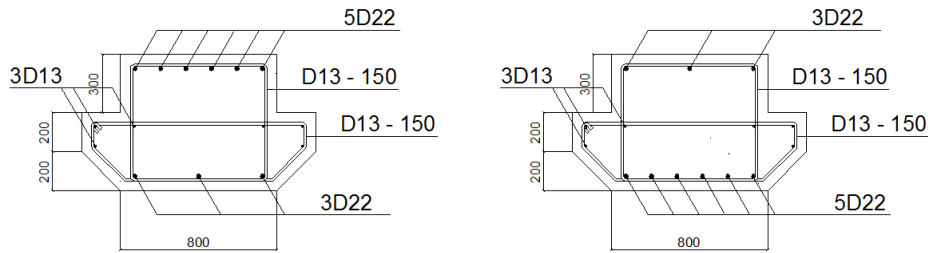
Dari hasil perhitungan, didapatkan diameter tulangan utama D22 dan diameter tulangan sengkang D13.



Gambar 4. Penulangan *slab* pada daerah tumpuan (kiri) dan daerah lapangan (kkanan)

Perhitungan Tulangan Pile Head

Dari hasil perhitungan, didapatkan diameter tulangan utama D22, diameter tulangan sengkang D13, dan diameter tulangan konsol D13.



Gambar 5. Penulangan *pile head* pada daerah tumpuan (kiri) dan daerah lapangan (kanan)

Perencanaan Struktur Bawah

Struktur bagian bawah menggunakan tiang pancang dengan dimensi sebesar 40cm x 40cm, beban yang akan ditahan oleh tiang pancang adalah beban yang disalurkan dari *slab* dan *pile head*. Tiang pancang direncanakan dari beton bertulang, dengan mutu K-350 (f_c' 29 MPa) dan baja tulangan ulir dengan mutu f_y 400 MPa.

Perhitungan Kapasitas Tiang Pancang

Kapasitas penampang beton bertulang dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada kondisi batas.

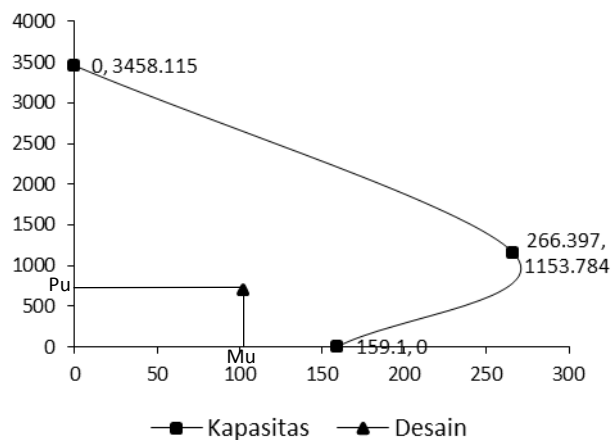
Tabel 6. Rekapitulasi analisis kapasitas tiang pancang

Kondisi	$\emptyset P$ (ordinat) (kN)	$\emptyset M$ (absis) (kNm)
Lentur Murni	0,00	159,1
<i>Balance</i>	1153,784	266,397
P_u Maksimal	3458,115	0,00

Berdasarkan hasil dari analisis struktur untuk tiang pancang yang ditinjau, diperoleh beban aksial dan momen lentur sebesar :

$$P_u = 70,26 T = 702,6 \text{ kN (ordinat)}$$

$$M_u = 10,24 Tm = 102,4 \text{ kNm (absis)}$$



Gambar 6. Diagram Interaksi P-M pada tiang pancang (40x40) cm

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa penampang kuat menahan beban yang terjadi akibat beban P_u dan M_u (berada didalam diagram interaksi).

Daya Dukung Ujung Tiang Pancang

Daya dukung ultimit pada ujung tiang pancang (Q_{wp}) dihitung dengan rumus:

$$Q_{wp} = 40.(N_b) \times (A_b) \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

N_b = harga N-SPT pada ujung tiang pancang

A_b = luas penampang pondasi tiang pancang

Dari perhitungan didapatkan $Q_{wp} = 53,33$ Ton

Daya Dukung Friksi Tiang Pancang

Daya dukung friksi / gesek ultimit (Q_{wsu}) pada dinding tiang pancang, dihitung berdasarkan gaya friksi yang terjadi antara dinding tiang pancang dengan tanah.

$$Q_{ws} = 0,5.(N) \times (A_s) \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

N = nilai N-SPT rata-rata

A_s = luas selimut tiang pancang

Dari perhitungan didapatkan $Q_{ws} = 50,52$ Ton

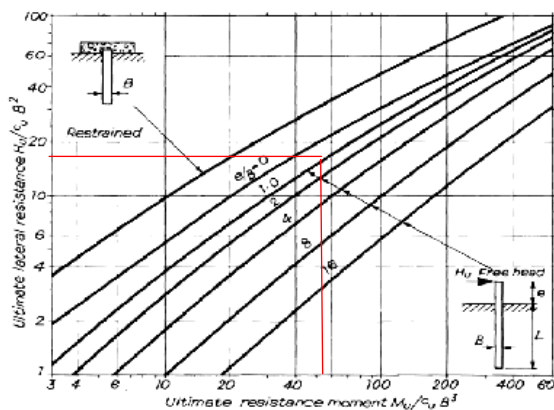
Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Besarnya daya dukung dari tiang pancang yang diijinkan :

$$Q_w = (Q_{wp} + Q_{ws}) \dots \dots \dots (5)$$

Dari perhitungan didapat $Q_w = 103,85$ Ton $> P_{layan} = 70,26$ Ton

Kontrol Gaya Lateral (Metode Broms)



Gambar 7. Grafik Broms *Ultimate Lateral Resistance* (Das, 2004) pada tiang pancang

Dari nilai $\frac{M_u}{c_u b^2}$ yang diperoleh, dimasukkan ke dalam grafik broms pada Gambar 7 diatas

dengan cara menarik garis tegak lurus, sehingga didapatkan nilai $\frac{Q_u}{c_u b^3} = 55$

$$Q_u = 55 \times c_u \times b^3 = 50,283 \text{ Ton} > \text{ gaya geser max} = 2,68 \text{ Ton}$$

Kontrol Terhadap Penurunan tTang Pancang

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

S = penurunan total

S₁ = penurunan batang tiang pancang

S₂ = penurunan tiang akibat beban di ujung tiang pancang

S₃ = penurunan tiang pancang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang pancang

Menentukan S₁

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \dots \dots \dots (7)$$

Dari perhitungan didapatkan S₁ = 0,640 cm

Menentukan S₂ dengan cara Vesic (1977) semi-empiris

$$S_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \dots \dots \dots (8)$$

Dari perhitungan didapatkan S₂ = 1,000 cm

Menentukan S₃

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \dots \dots \dots (9)$$

Dari perhitungan didapatkan S₃ = 0,029 cm

dimana:

Q_{wp} = beban yang dipikul ujung tiang akibat beban kerja

Q_{ws} = beban yang dipikul selimut tiang akibat beban kerja

L = panjang tiang

A_p = luas penampang tiang

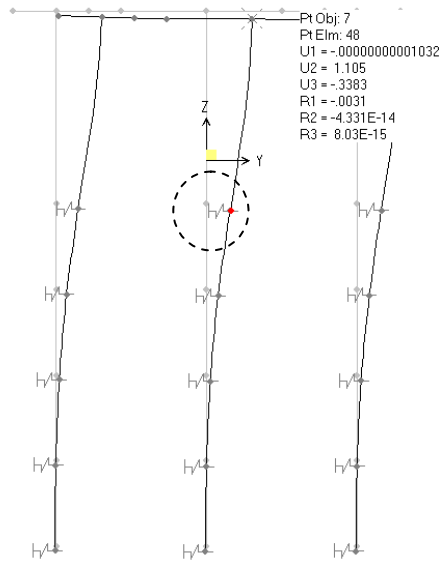
E_p = modulus elastisitas tiang

q_p = tahanan ujung batas tiang

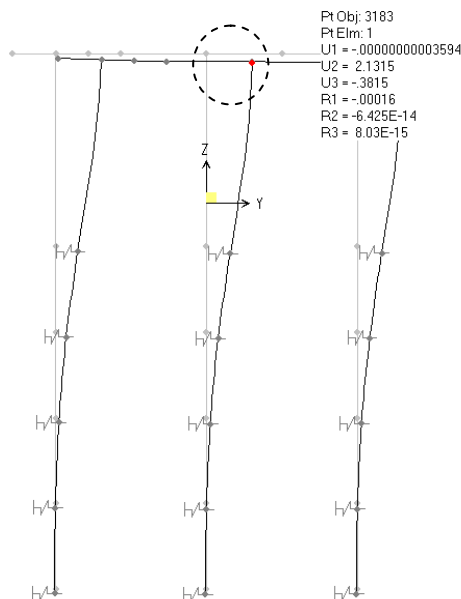
C_p = koefisien empiris

Maka besarnya penurunan total tiang pancang sebesar 1,669 cm

Kontrol Terhadap Deformasi



Gambar 8. Simpangan horisontal pada struktur di permukaan tanah $\delta_b = 1,105$ cm (dalam lingkaran)



Gambar 9. Simpangan horisontal pada struktur di *slab*/pelat $\delta_a = 2,131$ cm (dalam lingkaran)

Simpangan yang terjadi antara permukaan tanah dengan pelat/*slab* adalah:

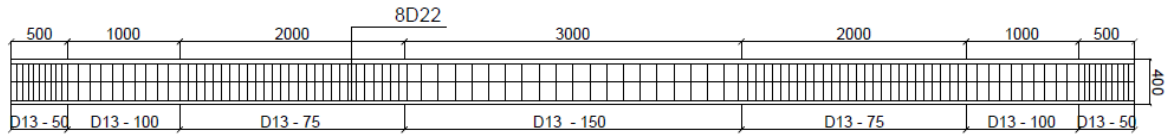
$$(\delta_a - \delta_b) = (2,131 - 1,105) = 1,03 \text{ cm.}$$

Tinggi pelat dari permukaan tanah : $H = 350$ cm, maka besarnya simpangan yang diijinkan:

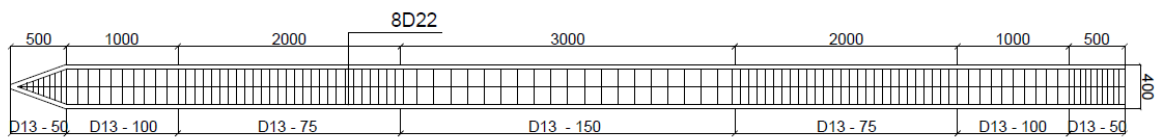
$$0,02.(H) = 0,02.(350) = 7 \text{ cm}$$

Untuk struktur *slab on pile* dengan Faktor Pembesaran Defleksi : $C_d = 4,5$ dan Faktor Keutamaan Gempa : $I_e = 1,0$, besarnya simpangan yang diperbesar :

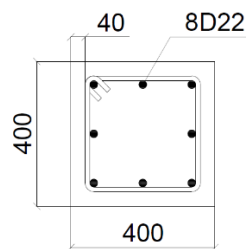
$$\Delta = (\delta_a - \delta_b) \cdot C_d / I_e = (1,03) \cdot 4,5 / 1,0 = 4,63 \text{ cm}$$



Gambar 10. *Middle pile*



Gambar 11. *Bottom pile*



Gambar 12. Penampang tiang pancang

KESIMPULAN

Hasil perencanaan struktur *Slab on Pile* yang telah dibahas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Permodelan tumpuan pondasi tiang pancang menggunakan model tumpuan pegas elastis. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan pegas elastis, kemampuan untuk mendukung beban tergantung dari besarnya *modulus of subgrade reaction* (ks) dari tanah tersebut.
2. Untuk menghindari goyangan yang berlebihan pada struktur, maka perlu diperiksa kekakuan lateral struktur *Slab on Pile* dengan menghitung besarnya simpangan ke arah horisontal dari struktur akibat kombinasi pembebanan yang ditinjau di dalam analisis.
3. Perencanaan daya dukung tanah vertikal menggunakan metode Meyerhof, sedangkan perencanaan daya dukung tanah lateral menggunakan metode Brons.

SARAN

Saran yang berkaitan dengan perencanaan struktur *Slab on Pile* adalah sebagai berikut:

1. Untuk menambah kekakuan lateral struktur *Slab on Pile* pada daerah belokan (alinyemen horisontal), dapat ditambahkan rangka pengaku (*bracing*) untuk mengatasi gaya sentrifugal yang berlebihan.

2. Untuk perencanaan daya dukung tanah, selain menggunakan data N-SPT, dapat juga digunakan data *sondir test* dan data *boring test*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 2005. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*, SNI T-02-2005, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 03-1726-2012, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2013, BSN, Bandung.
- Bowles, J.E., 1991. *Analisis dan Desain Pondasi, Edisi keempat Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1992. *Indonesian Bridge Management System*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Dewobroto, Wiryanto, 2007. *Aplikasi Rekayasa Kontruksi dengan SAP 2000*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Dipohusodo Istimawan, 1996. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T 15-1991-03*, Gramedia Pusaka Utama, Jakarta.
- Meyerhof, G., 1976. *Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundation. Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE, Vol. 102, No. GT3.*