

Pengaruh Pembesaran Dimensi Pile Terhadap Kekuatan Struktur Pile Slab

Eko Walujodjati*¹, Zulfikar Cholik²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu no. 1 Jayaraga, Garut

Submitted : 20, Juli, 2022;

Accepted: 23, Agustus, 2022

Abstrak

Jalan Tol Kapalbetung atau KAPB (Kayu Agung-Palembang-Betung) terdapat desain *Pile Slab* di atas tanah lunak. Penanganan dengan perbaikan tanah timbunan, dengan metode *vacuum* atau *stone column* kurang cocok untuk kondisi tanah *eksisting* yang tergenang air sepanjang tahun. *Spun Pile* awal D-60 cm menghasilkan *displacement/defleksi* dan kapasitas momen yang tidak memenuhi syarat. Perkuatan struktur diperlukan untuk mengatasi *displacement* berlebih dan memperkecil *Momen Ultimit* pada tiang-pancang. Alternatif penanganan struktur seperti pengurugan tanah, *Bracing* beton atau *Bracing* baja dinilai memiliki konsekuensi khusus. Penelitian ini bertujuan untuk mencari alternatif lain dalam mengatasi permasalahan tersebut. Melalui analisis struktur dengan cara memperbesar dimensi *Spun Pile* (Tiang-pancang) yang direkayasa supaya mampu memenuhi ketentuan-ketentuan yang terdapat pada perencanaan jalan Tol. Pembesaran penampang tiang-pancang dari *spun pile* D-60 cm menjadi *spun pile* D-120 cm, menghasilkan nilai *displacement* dan momen yang memenuhi syarat. Dengan kenaikan dimensi diameter *spun pile* sebesar 100%, pada *displacement* terjadi penurunan sebesar 72% dan pada momen memenuhi syarat batas maksimum kapasitas momen *spun pile* sesuai brosur produsen.

Kata Kunci : *displacement/defleksi; momen; pembesaran dimensi; pile slab*

Abstract

The Kapalbetung Toll Road or KAPB (Kayu Agung-Palembang-Betung) has a *Pile Slab* design on soft ground. Handling by improving the embankment soil, using a *vacuum* or *stone column* method is unsuitable for existing soil conditions that are waterlogged throughout the year. Initial *Spun Pile* D-60 cm resulted in *displacement/deflection* and moment capacity that did not meet the requirements. Structural reinforcement was needed to overcome the excessive *displacement* and minimize the *Ultimate Moment* on the piles. Alternatives for handling structures such as backfilling, concrete bracing, or steel bracing are considered to have extraordinary consequences. This study aims to find other alternatives in overcoming these problems. Through structural analysis by increasing the dimensions of the *Spun Pile* (piles) which are engineered to meet the provisions contained in the toll road planning. Enlargement of the cross-section of the

piles from spun pile D-60 cm to spun pile D-120 cm, produces displacement and moment values that meet the requirements. With an increase in the dimensions of the diameter of the spun pile by 100%, the displacement decreases by 72% and when the moment meets the requirements for the maximum limit of the moment capacity of the spun pile according to the manufacturer's brochure.

Keywords : *displacement/deflection; moment; dimension enlargement; pile slab*

A. PENDAHULUAN

Jalan Tol Kapalbetung atau KAPB (Kayu Agung – Palembang - Betung) merupakan proyek jalan tol yang dalam skema proyek Infrastruktur strategis Nasional. Jalan Tol Kapal betung dalam jaringan jalan Tol Trans Sumatera yang menghubungkan kota-kota Kayu Agung-Palembang dan berakhir di Betung Kabupaten Banyuasin, Sebelah Utara Kota Palembang di Provinsi Sumatera Selatan.

Pada jalan Tol Kayu Agung-Palembang-Betung terdapat desain *Pile Slab* di atas tanah lunak yang tebalnya bervariasi antara 6-8 meter. Penanganan dengan perbaikan tanah timbunan, dengan metode *vacuum* atau *stone column* kurang cocok untuk kondisi tanah eksisting yang tergenang air sepanjang tahun, dan target penyelesaian kontruksi yang cepat. Untuk lokasi tersebut diputuskan penggunaan struktur *Pile Slab* (*Pile Support Slab*).

Struktur *Pile Slab* pada Jalan Tol Kayu Agung – Palembang - Betung berada di daerah tanah lunak dan ada kecenderungan yang mirip dengan tanah gambut dengan tingkat keasaman lingkungan yang tinggi, sehingga bersifat korosif. Untuk memperkuat kekakuan tanah atau meningkatkan N-SPT tanah permukaan yang dideskripsikan sebagai tanah lunak berupa tanah organik, pada saat pelaksanaan tanah asli perlu ditimbun dengan tanah yang dipadatkan setebal minimum 2 m.

Struktur *Pile Slab* dimodelkan untuk beberapa ketinggian di atas permukaan

tanah (*Free Standing*) dari ketinggian sampai dengan 7 m dan ketinggian maksimum 10 m. Konfigurasi Pile akan berbeda untuk ketinggian *Free Standing* yang berbeda pula. Perlu dilakukan pengecekan terhadap beberapa parameter struktur yaitu *Defleksi Struktur*, *Momen Pile* pada kondisi layan dan kondisi *Ultimate*.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Pile Slab

Pile slab adalah 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. *Pile slab* sudah digunakan diantaranya pada proyek kereta cepat yang melewati tanah lunak (Zhang et al., 2018). Melalui analisis struktur yang dilakukan terdapat kondisi-kondisi yang tidak memenuhi ketentuan-ketentuan yang ada dan diperlukan perbaikan struktur. Mitigasi yang pernah juga dilakukan oleh (Yang et al., 2020) dan (Wibawa, 2005). Dari analisis struktur diperoleh gaya-gaya yang bekerja dengan menggunakan perhitungan struktur. Perhitungan menunjukkan bahwa pile cap dan tulangan slab sesuai dengan momen yang terjadi, kekuatan dan daya dukung tiang memenuhi keselamatan persyaratan. (Wahyu & Pamungkas, 2019). Perkuatan struktur diperlukan untuk mengatasi Defleksi (besarnya pergeseran atau perpindahan pada batang akibat dari

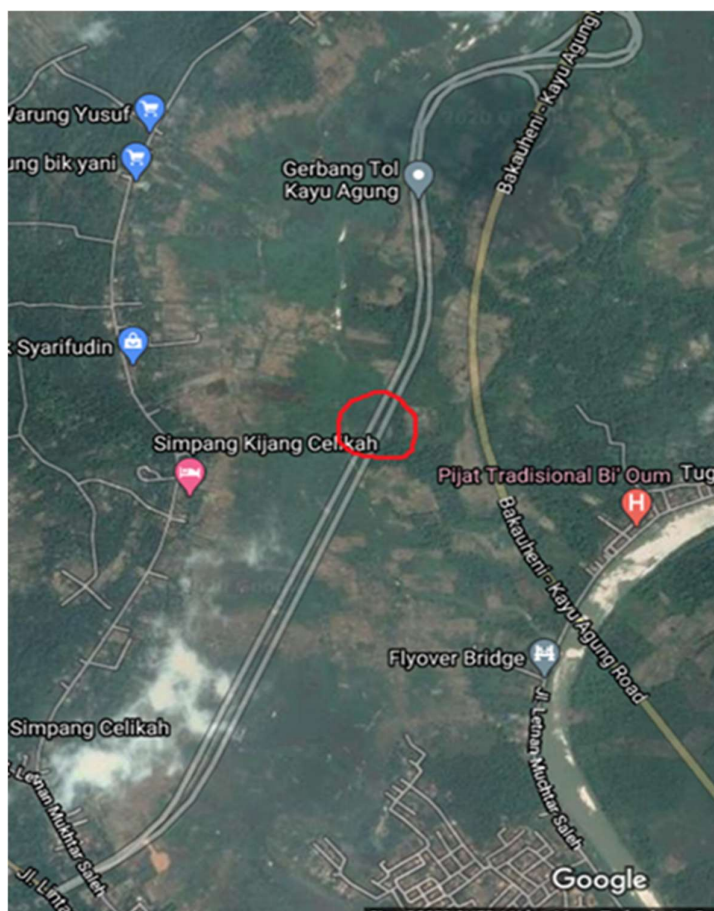
adanya beban yang bekerja pada batang tersebut) berlebih dan memperkecil *Momen Ultimit* (momen akibat beban terfaktor) pada tiang-pancang.

Melalui analisis struktur yang dilakukan untuk perbaikan struktur diperlukan untuk mengatasi *Defleksi* berlebih dan memperkecil *Momen Ultimit* dengan cara memperbesar dimensi *Spun Pile* (Tiang-pancang) yang direkayasa

supaya mampu memenuhi kriteria-kriteria dan ketentuan - ketentuan yang terdapat pada perencanaan jalan Tol.

C. METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada analisis struktur pile slab yang berada di atas tanah lunak sepanjang 700 meter (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi

1. Analisis Data Tanah

Analisis struktur dilakukan secara menyeluruh supaya diketahui kemampuan daya dukung tiang ketika memikul beban, daya dukung tiang pancang dihitung berdasarkan nilai N-SPT yang diperoleh dari uji tanah lapangan (Kurniadi et al., 2015) Data tanah selanjutnya diubah dan dimasukkan

ke dalam aplikasi dengan harapan dapat merepresentasikan kondisi tanah yang ada.

2. Pembebanan pada struktur

Menurut (SNI 1725:2016 Indonesia & Nasional, 2016) pembebanan untuk jembatan, kombinasi yang harus diperhitungkan adalah kombinasi

pembebanan pada kondisi layan, kondisi ekstrem dan *fatigue*. Seperti pada kombinasi pembebanan pada kondisi Tabel 1 berikut:
 ultimit, kombinasi pembebanan pada

Tabel 1. Kombinasi pembebanan struktur kombinasi ultimit, ekstrem, layan, dan fatigue sesuai SNI 1725-2016 (Setiyarto, 2017)

AKSI	S	ULTIMIT					EKSTREM			LAYAN				FATIGUE
		UL	UL	UL	UL	UL	EE 1-X	EE 1-Y	EE 2	SLS1	SLS2	SLS3	SLS4	FAT
		S1	S2	S3	S4	S5				1	1	1	1	
AKSI PERMANEN														
-BERAT SENDIRI	MS	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	
-BEBAN MATI TAMBAHAN														
-TEKANAN TANAH	MA	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
-GAYA PRATEKAN	TA	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1	1	1	1	
-BEBAN PERMANEN KONSTRUKSI														
-SUSUT RANGKAK	PR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
AKSI TRANSIEN														
-BEBAN LUKA'D'BEAN TRUK'T'														
-GAYA REM	TD\TT	1,8	1,4						0,5	1	1,3	0,8		0,75
-GAYA SENTRIFUGAL	TB	1,8	1,4						0,5	1	1,3	0,8		0,75
-BEBAN PEJALAN KAKI														
-BEBAN TEMPERATUR GRADIEN	TR	1,8	1,4						0,5	1	1,3	0,8		0,75
-BEBAN TEMPERATUR SERAGAM														
-BEBAN ANGIN PADA STRUKTUR	TG	1,2	1,2							1				
-BEBAN ANGIN PADA KENDARAAN	EU n	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2		1	1	1	1	1	1	
-BEBAN ARUS DAN HANYUTAN	EW s			1,4		0,4		1	1	1	1	1	1	
-TEKANAN HIDROSTATIS DAN APUNG	EW1					1				1				
-GAYA FRIKSI	EF	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5								
-PENURUNAN	EU n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
AKSI KHUSUS														
-BEBAN GEMPA ARAH X	BF	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	1	1	1	
-BEBAN GEMPA ARAH Y	SE	1	1	1		1				1		1	1	
-BEBAN TUMBUKAN KENDARAAN														
-BEBAN TUMBUKAN KAPAL	EQX						1	0,3						
	EQY						0,3	1						
	TC								1					
	TV								1					

3. Pemodelan Tumpuan Fondasi Tiang-Pancang

Untuk proses analisis struktur, digunakan model tumpuan pegas elastis, yang merepresentasikan daya dukung fondasi tiang-pancang. Besarnya reaksi yang dapat didukung oleh tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan pegas elastis tergantung dari nilai gaya pegas

dari tumpuan yang bersangkutan (Munir & Yakin, 2018). Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban tergantung dari nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (*modulus of subgrade reaction*, ks) dari tanah. Modulus reaksi tanah dasar adalah suatu hubungan konsep pengertian di antara tekanan tanah

dan lendutan. Besarnya nilai ks berbeda-beda pada setiap kedalaman dan atau jenis tanah. Nilai modulus reaksi tanah dasar ks dapat dicari dengan beberapa cara seperti uji plat beban, tabel nilai tipikal atau korelasi serta perhitungan penurunan fondasi. (Bowles, 2005) mengusulkan bahwa besarnya *modulus of subgrade reaction* (ks) dapat ditentukan dari besarnya daya dukung tanah diizinkan (qa), yaitu:

$$ks=12(SF)qa \text{ (k/ft}^3\text{)} \quad (1)$$

Dimana SF adalah angka keamanan (*safety factor*), dan qa dalam satuan kPa (kN/m²). Faktor keamanan SF biasanya 2 untuk pasir dan 3 untuk tanah kohesif, maka besarnya modulus subgrade reaction tanah adalah:

$$ks=36.qa \quad (2)$$

(Lestari et al., 2020) mengusulkan pendekatan empiris untuk menentukan nilai konstanta pegas yang di pakai di Jepang, yaitu:

$$Kv = \frac{A_p \cdot E_p}{l} \quad (3)$$

Untuk tiang yang terbuat dari pipa baja,

$$a=0,027(l/D)+0,2 \quad (4)$$

Untuk tiang beton pratekan,

$$a=0,04(l/D)+0,27 \quad (5)$$

Untuk tiang dicor di tempat

$$a=0,022(l/D)+0,05 \quad (6)$$

dimana:

A_p = Luas penampang netto tiang (cm²)

E_p = Modulus elastisitas tiang (kg/cm²)

L = Panjang tiang (cm)

D = Diameter Tiang (cm)

$l/D \geq 10$

Besaran nilai *modulus of subgrade reaction* (ks) yang dipakai dalam penelitian ini adalah Tabel korelasi nilai SPT (Brown et al., 1987) seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Modulus of subgrade reaction

NSPT	Shear Strength (C_u) (kPa)	Modulus of Subgrade Reaction (k) in kN/m ³			
		Clay		Sand	
		Static	Cyclic	Dry	Saturated
1	6	2,000	800	600	500
5	30	12,800	5,120	3,300	2,700
10	60	54,300	21,720	6,700	5,400
15	90	122,300	48,920	11,200	8,100
20	120	169,700	67,880	15,600	10,800
25	150	211,900	84,760	20,000	13,500
30	180	254,100	101,640	24,400	16,300
35	210	300,100	120,040	33,500	20,700
40	240	348,700	139,480	42,700	25,100
45	270	397,200	158,880	51,800	29,500
50	300	445,800	178,320	61,000	33,900
55	330	494,400	197,760	70,100	38,300
60	360	543,000	217,200	79,200	42,700

4. Kriteria Desain Pile Slab

Beberapa kriteria desain (Badan Standardisasi Nasional, 2016) yang digunakan dalam Perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Faktor modifikasi Respon yang digunakan dalam perencanaan adalah $R = 3$.
2. Untuk kapasitas geser tiang digunakan faktor modifikasi $R = 3$.
3. Pengecekan momen *crack* untuk kondisi layan (servis) baik defleksi beban operasional gempa.
4. Batas defleksi (lendutan ijin) untuk kondisi layan operasional adalah 1.25 cm untuk permukaan tanah dan $L/200$ untuk diatas permukaan tanah. Di mana L adalah total panjang Free Standing. Total defleksi ijin $L/200 + 1.25$ cm.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

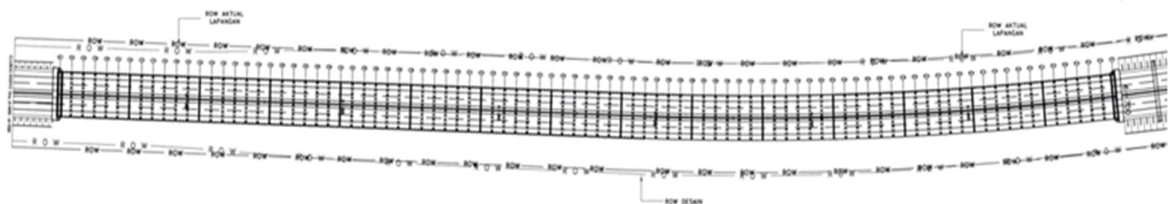
1. Deskripsi Model Struktur

Dalam menganalisis kekuatan tiang pancang beton bertulang, dilakukan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak. Struktur Analisis Program yang dimaksudkan untuk

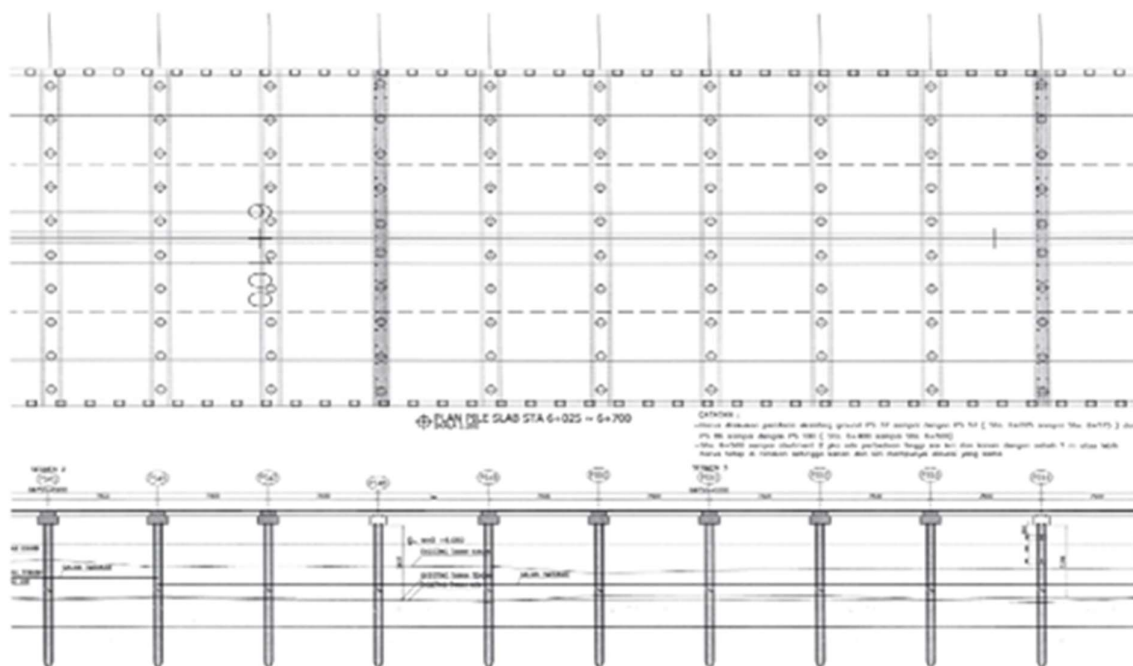
mendapatkan besaran gaya dalam yang dihasilkan oleh beban yang bekerja berupa momen lentur terfaktor (M_u) serta defleksi/lendutan (Displacement). Struktur dimodelkan 3 dimensi (portal ruang).

Spesifikasi struktur pile slab pada lokasi ini didesain dengan bentang antar tiang 7.5 m, lebar pile slab 12.45 m, mengikuti tebal pelat = 35 cm, dan satu sistem model struktur terdiri atas 5 bentang dan jarak antar expansion joint 45 m, dengan satu ujung diidealisasikan sebagai sendi dan ujung lainnya sebagai roll. *Pile head* didesain berkesinambungan dengan tiang pancang. Fondasi didesain menggunakan spun pile D60 cm Tipe B.

Mutu bahan material tiang pancang direncanakan menggunakan beton *precast spun pile* D60 cm type B dengan $f_c' = 50$ MPa, *pile head* dengan beton konvensional $f_c' = 40$ Mpa dan slab menggunakan precast beton $f_c' = 42$ Mpa. Material baja tulangan diameter kurang dari 12 mm adalah BJTP 24 dan tulangan diameter lebih dari 12 mm adalah BJTD 40. Seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.



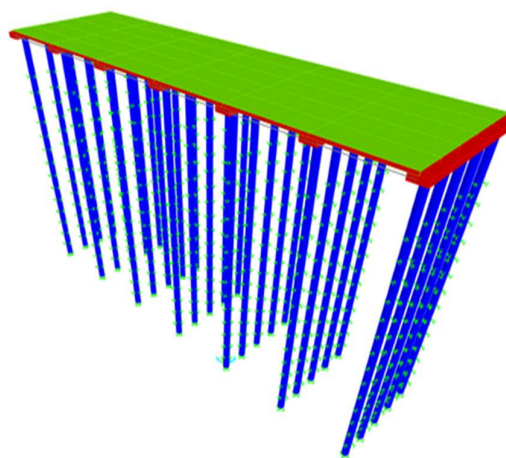
Gambar 2. Denah pile slab



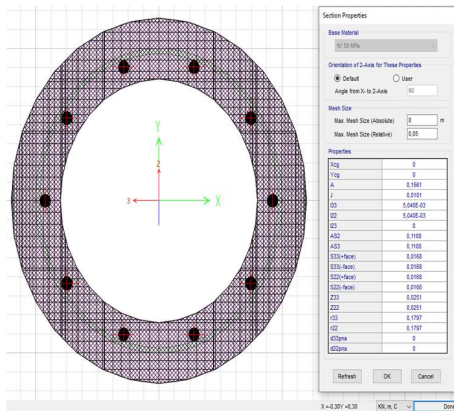
Gambar 3. Potongan Memanjang Pile Slab

2. Pemodelan Struktur Pile Slab

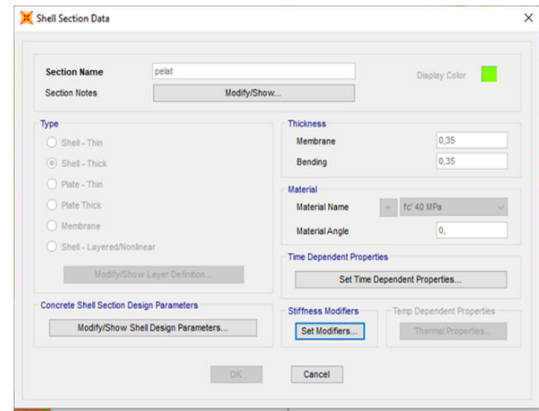
Pile Slab dimodelkan dengan lebar 12.45 m, bentang tipikal 7.5m, dan expansion joint dipasang setiap 6 bentang, total panjang 45 m, pile slab dimodelkan penuh atau full dengan menggunakan soil spring pada daerah di bawah permukaan tanah (Gambar 4). *Section Properties* seperti pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8. Konfigurasi tiang disesuaikan dengan tinggi tiang di atas permukaan tanah (*free standing*). *Spesifikasi Spun pile* yang digunakan mempunyai diameter 60 cm Class B. Dengan pemodelan yang menyertakan *soil spring interaction* (Gamabar 9) diharapkan model dapat mendekati kenyataan struktur yang dibangun.



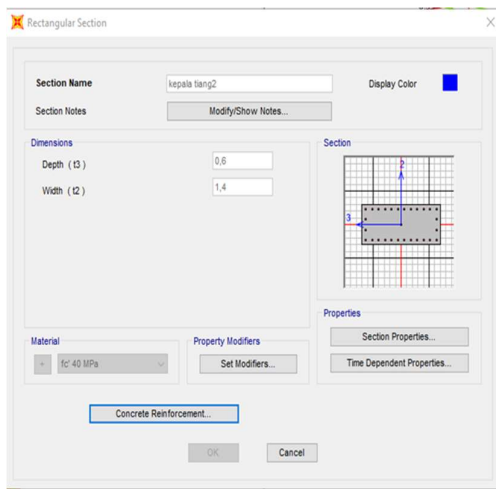
Gambar 4. Pemodelan Pile Slab



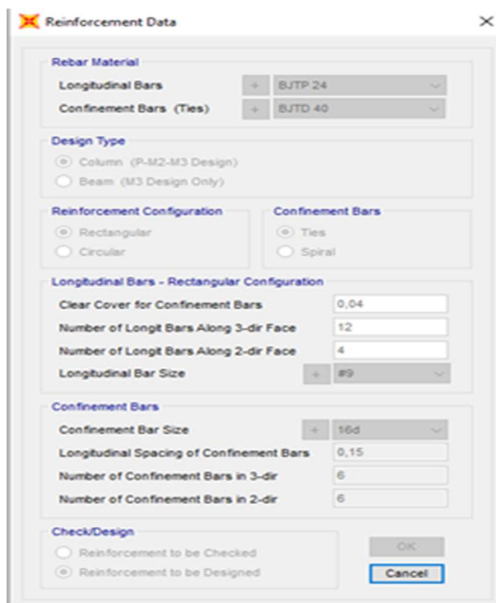
Gambar 5. Data tiang pancang



Gambar 8. Data pelat (Slab)



Gambar 6. Data kepala tiang pancang



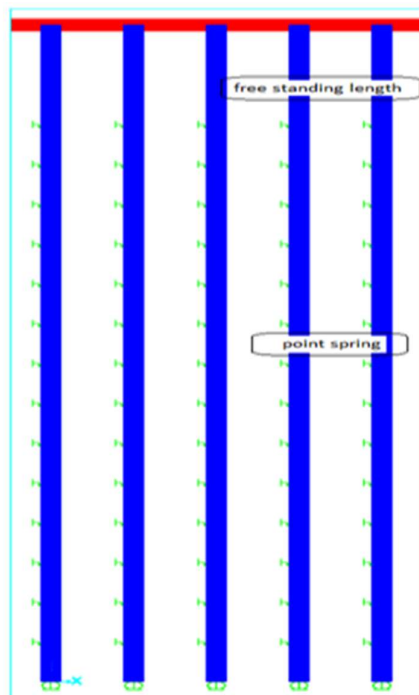
Gambar 7. Penulangan kepala tiang pancang

3. Pembebanan Struktur Pile Slab

Perencanaan pembebanan adalah pendefinisian beban-beban yang bekerja pada struktur dengan pedoman perencanaan Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016 Indonesia and Nasional, 2016). Seluruh beban yang telah definisikan akan bekerja pada model struktur pile slab ini. Beban-beban yang bekerja pada struktur *Pile Slab* ini diantaranya, berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur 'D', gaya rem, pengaruh temperatur, beban angin, dan beban gempa.

4. Pemodelan interaksi tanah – struktur (soil - structure interaction)

Untuk menghasilkan analisis yang merepresentasikan kondisi dan kekakuan struktur actual, diperhitungkan juga kekakuan tiang fondasi dan interaksi antara parameter tanah dan parameter struktur (Interaksi Tanah-Struktur) seperti pada Gambar 9. kombinasi kekakuan pier dan fondasi menjadi dominan dalam menentukan kekakuan struktur global, terutama pengaruh pada evaluasi gempa. Selain itu, karena pile slab berada di atas tanah gambut dan berair, maka ada free standing length tiang pancang dari dasar pile head hingga dasar rawa.



Gambar 9. Pemodelan Interaksi Tanah-Struktur

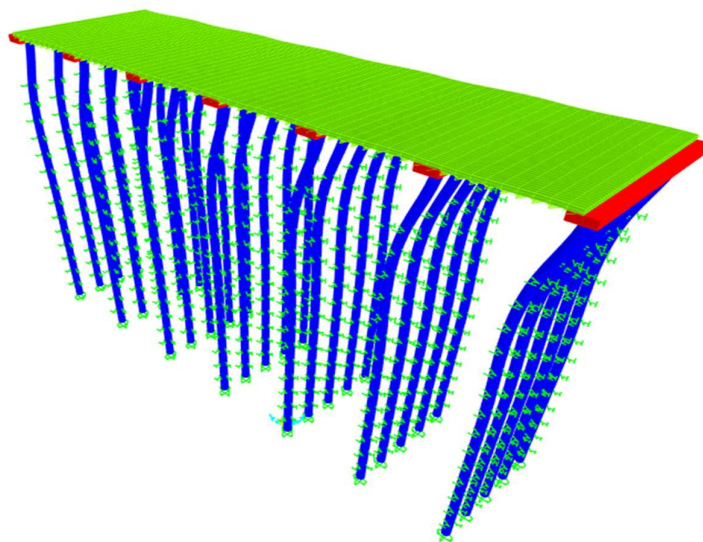
Struktur Pile Slab dimodelkan untuk beberapa ketinggian pile di atas permukaan tanah (*free Standing*). Perlu dilakukan pengecekan terhadap beberapa parameter struktur antara lain:

1. Defleksi/Lendutan struktur pada kondisi Ultimit (baik pada saat operasional ataupun gempa.
2. Momen pile pada kondisi ultimit harus lebih kecil dari momen *crack* (dari brosur precast).

5.1 Pemeriksaan Defleksi dan Deformasi.

Batasan defleksi diambil sebesar $L/200+1.25$ cm untuk kondisi operasional. Output dan control perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 dan Gambar 10 menunjukkan nilai defleksi struktur untuk kondisi gempa di mana besarnya defleksi struktur yang terjadi melebihi dari batasan yang diisyaratkan.



Gambar 10 Defleksi

5. Analisis Struktur Pile Slab

Tabel 3. Hasil Analisis Dimensi D-60 cm untuk defeksi

TABLE: Joint Displacements - Absolute										
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1		U2		U3		R1
Text	Text	Text	Text	mm	in	mm	in	mm	in	Radians
~542	EE 1-X	Combination	Max	37.6		13.0		0.1		0.0
~601	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.6		-0.4		0.0
~895	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.0		-1.0		0.0
~925	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.3		-0.8		0.0
~631	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.3		-0.7		0.0
~974	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.7		-0.3		0.0
~905	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.1		-0.9		0.0
~611	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.5		-0.5		0.0
~915	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.2		-0.8		0.0
~944	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.4		-0.6		0.0
~621	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.4		-0.6		0.0
~797	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.2		-1.6		0.0
~964	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.6		-0.4		0.0
~699	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.7		-1.2		0.0
~680	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.9		-1.0		0.0
~954	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.5		-0.5		0.0
~650	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.1		-0.8		0.0
~827	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.4		-1.4		0.0
~876	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.8		-1.1		0.0
~729	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.4		-1.3		0.0
~846	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.6		-1.3		0.0
~778	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.1		-1.6		0.0
~748	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.2		-1.4		0.0
~807	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.2		-1.5		0.0
~817	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.3		-1.4		0.0
~670	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.0		-0.9		0.0
~660	EE 1-X	Combination	Max	37.6		12.0		-0.9		0.0
~709	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.6		-1.2		0.0
~719	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.5		-1.3		0.0
~866	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.7		-1.2		0.0
~856	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.6		-1.3		0.0
~768	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.1		-1.5		0.0
~758	EE 1-X	Combination	Max	37.6		11.2		-1.4		0.0
maksimum lendutan yang terjadi				37.6	mm					
syarat $L/200 + 1.25$ cm =				3.75	cm =	37.5	mm	NOT OK !!!		

5.2. Pemeriksaan Momen

Momen pada kondisi ultimit diisyaratkan kurang dari *breaking moment spun pile* untuk *spun pile class B*

besarnya nilai *breaking momen* adalah kurang lebih 45 ton sesuai pada *brosur precast*. Pemeriksaan momen ditunjukan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Dimensi D-60 cm untuk momen

TABLE: Element Forces - Frames													
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m	
1778	1.2325	EE 1-X	Combination Max		358.463	118.962	219.175	134.7713	35.2977	479.3783	1778-6	0.0175	
1694	0	EE 1-X	Combination Max		-113.437	135.041	55.66	7.5657	190.7337	480.1559	1694-1	0	
1778	1.215	EE 1-X	Combination Max		358.463	118.171	219.175	134.7713	39.1269	481.2479	1778-6	0	
1616	0	EE 1-X	Combination Max		-300.481	136.264	53.892	7.5657	184.3617	483.7418	1616-1	0	
1537	0	EE 1-X	Combination Max		-223.368	138.078	56.518	7.5657	193.3941	489.3706	1537-1	0	
1615	0	EE 1-X	Combination Max		-370.488	140.163	50.675	7.5657	172.8375	498.2369	1615-1	0	
1613	0	EE 1-X	Combination Max		-212.271	140.194	58.483	7.5657	200.5304	498.3527	1613-1	0	
1614	0	EE 1-X	Combination Max		-293.262	141.622	54.468	7.5657	186.2974	503.6628	1614-1	0	
1536	0	EE 1-X	Combination Max		-302.294	142.926	52.391	7.5657	178.7773	507.3977	1536-1	0	
1457	0	EE 1-X	Combination Max		-212.759	145.465	55.43	7.5657	189.3493	515.5698	1457-1	0	
1533	0	EE 1-X	Combination Max		-206.984	146.442	57.007	7.5657	195.0439	520.4697	1533-1	0	
1535	0	EE 1-X	Combination Max		-376.32	146.804	49.155	7.5657	167.1889	521.8161	1535-1	0	
1534	0	EE 1-X	Combination Max		-294.342	148.128	52.972	7.5657	180.7363	526.7363	1534-1	0	
1456	0	EE 1-X	Combination Max		-297.972	150.441	51.311	7.5657	174.7631	534.0719	1456-1	0	
33	0	EE 1-X	Combination Max		-198.924	153.729	53.849	7.5657	183.4729	544.8328	33-1	0	
1453	0	EE 1-X	Combination Max		-195.504	153.659	55.914	7.5657	190.9767	546.0368	1453-1	0	
1455	0	EE 1-X	Combination Max		-376.719	154.343	48.078	7.5657	163.1826	548.5772	1455-1	0	
1454	0	EE 1-X	Combination Max		-289.633	155.557	51.892	7.5657	176.7217	553.0939	1454-1	0	
18	0	EE 1-X	Combination Max		-291.736	158.948	49.747	7.5657	168.9491	564.2397	18-1	0	
1	0	EE 1-X	Combination Max		-182.654	162.122	54.319	7.5657	185.0495	576.039	1-1	0	
1377	0	EE 1-X	Combination Max		-178.792	162.554	50.445	7.5657	170.8176	576.0751	1377-1	0	
17	0	EE 1-X	Combination Max		-376.285	162.965	46.515	7.5657	157.3713	579.1724	17-1	0	
2	0	EE 1-X	Combination Max		-283.855	164.151	50.322	7.5657	170.8828	583.5843	2-1	0	
1376	0	EE 1-X	Combination Max		-279.68	168.106	46.346	7.5657	156.3027	596.7161	1376-1	0	
1777	0	EE 1-X	Combination Max		30.619	169.115	43.264	7.5657	144.116	598.8209	1777-1	0	
1373	0	EE 1-X	Combination Max		-164.176	171.352	50.879	7.5657	172.2572	608.7843	1373-1	0	
1375	0	EE 1-X	Combination Max		-370.435	172.277	43.109	7.5657	144.7067	612.2225	1375-1	0	
1374	0	EE 1-X	Combination Max		-272.54	173.465	46.903	7.5657	158.172	616.6392	1374-1	0	
1773	0	EE 1-X	Combination Max		42.755	177.06	43.682	7.5657	145.498	628.3519	1773-1	0	
1776	0	EE 1-X	Combination Max		-93.006	177.751	40.153	7.5657	133.2806	630.9237	1776-1	0	
1774	0	EE 1-X	Combination Max		-87.74	182.195	40.684	7.5657	135.0479	647.4434	1774-1	0	
1775	0	EE 1-X	Combination Max		-177.919	182.657	36.771	7.5657	121.1414	649.161	1775-1	0	
maksimum momen setelah perbesaran momen										649.161 kN.m			
Faktor perbesaran momen										1.2			
maksimum momen setelah perbesaran momen										778.9932 kN.m	NOT OK !!!		
kapasitas maksimumsesuai brosur										450 kN.m			

Pada Tabel 4 menunjukan nilai momen yang terjadi yang terjadi pada struktur. Perolehan nilai maksimum didapatkan setelah momen dikalikan dengan faktor pembesaran momen sebesar 1.20 dengan demikian maka momen yang dihitung adalah momen baru sebesar $649.16 \times 1.20 = 779$ kN.m. Hasil sementara didapat dengan analisis yang dilakukan di atas dengan hasil defleksi atau *displacement* maksimum adalah 3.76 cm lebih besar dari batasan maksimum sebesar $L/200 + 1.25$ cm sebesar 3.75 cm. Pada kondisi ini struktur Pile Slab tidak memenuhi ketentuan. Momen pada struktur sebesar 778 kN/m melebihi batas

kemampuan Spun Pile D 60 cm Tipe B, yaitu sebesar 450 kN/m sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh pabrik precast. Dari kesimpulan di atas diperlukan perbaikan struktur.

5.3. Pembesaran Dimensi untuk Mengatasi Defleksi Berlebih dan Memperkecil Momen Ultimit pada Tiang-Pancang

Berdasarkan hasil analisis seperti disebutkan di atas, maka diperlukan perbaikan struktur, pilihan alternative penanganan struktur diantaranya:

1. Pengurangan untuk memperkecil *free standing* tiang pancang

2. Pemasangan *bracing* menggunakan *bracing* beton
 3. Pemasangan *bracing* menggunakan *bracing* baja
- Perbaikan dengan pengurugan tanah sudah tidak memungkinkan lagi karena kondisi rawa yang tertutup sepanjang tahun dan akses ke lokasi sudah tertutup serta kondisi rawa yang tergenang air. Perbaikan menggunakan *bracing* beton juga tidak memungkinkan karena alasan yang sama dengan alasan sebelumnya ditambah pembuatan *bekisting*, perakitan besi dan pengecoran tidak memungkinkan lagi dilakukan di bawah pile slab di atas tanah yang sangat

lunak. Alternatifnya adalah *bracing* menggunakan *bracing* baja dengan konsekuensi diantaranya:

1. Perlu perawatan rutin baja terhadap karat
2. Perlu pengawasan khusus agar struktur aman dari pencurian
3. Perlu pemeriksaan terhadap struktur dalam jangka waktu tertentu, kekencangan baut dan laju pertumbuhan karat.

Dengan tahapan yang sama menghasilkan defleksi seperti pada Tabel 5 dan momen seperti pada Tabel 6;

Tabel 5. Hasil Analisis Dimensi D-120 cm untuk defleksi

TABLE: Joint Displacements - Absolute									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians
~601	EE 1-X	Combination	Max	10.362186	4.53079	-0.37834	0.000359	0.000295	0.000096
~895	EE 1-X	Combination	Max	10.362325	4.363487	-0.635212	0.000353	0.000251	0.000096
~925	EE 1-X	Combination	Max	10.362557	4.43305	-0.552829	0.000332	0.000198	0.000096
~631	EE 1-X	Combination	Max	10.362626	4.460552	-0.516744	0.000331	0.000154	0.000096
~974	EE 1-X	Combination	Max	10.362846	4.547516	-0.351694	0.000362	0.000361	0.000096
~611	EE 1-X	Combination	Max	10.362935	4.506559	-0.436501	0.000345	0.000235	0.000096
~905	EE 1-X	Combination	Max	10.362952	4.38674	-0.601622	0.000342	0.000222	0.000096
~944	EE 1-X	Combination	Max	10.363019	4.478262	-0.498436	0.000332	0.000217	0.000095
~915	EE 1-X	Combination	Max	10.363074	4.409919	-0.57574	0.000335	0.000204	0.000096
~797	EE 1-X	Combination	Max	10.363089	4.132131	-0.81975	0.000344	0.000161	0.000096
~621	EE 1-X	Combination	Max	10.363132	4.483233	-0.481523	0.000336	0.000188	0.000096
~680	EE 1-X	Combination	Max	10.363163	4.342582	-0.645121	0.000351	0.000183	0.000096
~699	EE 1-X	Combination	Max	10.36317	4.292899	-0.736738	0.000349	0.000173	0.000096
~650	EE 1-X	Combination	Max	10.363324	4.414257	-0.567588	0.00033	0.000117	0.000095
~827	EE 1-X	Combination	Max	10.363365	4.201097	-0.788477	0.000324	0.000064	0.000096
~876	EE 1-X	Combination	Max	10.363437	4.315186	-0.729883	0.00035	0.000202	0.000096
~729	EE 1-X	Combination	Max	10.363463	4.221649	-0.788031	0.000324	0.000046	0.000096
~778	EE 1-X	Combination	Max	10.363574	4.105498	-0.819044	0.000342	0.000142	0.000096
~846	EE 1-X	Combination	Max	10.363642	4.246018	-0.784368	0.000325	0.000069	0.000095
~964	EE 1-X	Combination	Max	10.363722	4.523581	-0.413284	0.000347	0.000294	0.000096
~748	EE 1-X	Combination	Max	10.363776	4.175323	-0.790436	0.000322	0.000033	0.000095
~954	EE 1-X	Combination	Max	10.363809	4.500584	-0.461006	0.000338	0.000247	0.000096
~807	EE 1-X	Combination	Max	10.364125	4.155293	-0.799758	0.000335	0.000113	0.000096
~670	EE 1-X	Combination	Max	10.364188	4.366534	-0.613148	0.00034	0.000141	0.000096
~709	EE 1-X	Combination	Max	10.364256	4.268318	-0.765208	0.000337	0.000114	0.000096
~817	EE 1-X	Combination	Max	10.364269	4.178273	-0.791051	0.000328	0.000081	0.000096
~660	EE 1-X	Combination	Max	10.36427	4.390418	-0.58888	0.000334	0.00012	0.000095
~719	EE 1-X	Combination	Max	10.364408	4.244659	-0.780903	0.000329	0.000072	0.000096
~866	EE 1-X	Combination	Max	10.364623	4.291298	-0.759559	0.000338	0.000137	0.000096
~856	EE 1-X	Combination	Max	10.364727	4.268332	-0.776302	0.00033	0.000094	0.000095
~768	EE 1-X	Combination	Max	10.364826	4.128252	-0.800013	0.000332	0.000084	0.000096
~758	EE 1-X	Combination	Max	10.364929	4.151811	-0.792179	0.000325	0.000049	0.000095
maksimum lendutan yang terjadi				10.364929	mm				
syarat $L/200 + 1.25 \text{ cm} =$				3.75	mm	OK			

Tabel 6. Hasil Analisis Dimensi D-120 cm untuk momen

TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
1538	1.2325	UL S1	Combination		-5226.628	-1247.293	-81.118	138.1394	1577.9233	1385.0953	1538-6	0.0175
1618	1.2325	UL S1	Combination		-5104.688	-1099.313	-1041.517	-286.9727	1513.4741	1387.3595	1618-6	0.0175
1618	1.2325	UL S2	Combination		-5085.876	-1070.129	-1045.729	-295.3731	1513.7534	1391.1785	1618-6	0.0175
1538	1.2325	UL S2	Combination		-5199.857	-1196.388	-86.949	130.2034	1578.0028	1396.4117	1538-6	0.0175
1458	1.215	UL S1	Combination		-5212.988	-1166.212	167.726	253.4254	1597.1926	1401.4564	1458-6	0
1458	1.215	UL S2	Combination		-5193.793	-1135.668	162.401	245.1068	1597.2509	1406.2848	1458-6	0
1458	1.2325	UL S1	Combination		-5212.988	-1164.426	167.726	253.4254	1594.2574	1421.8495	1458-6	0.0175
1458	1.2325	UL S2	Combination		-5193.793	-1134.025	162.401	245.1068	1594.4089	1426.1446	1458-6	0.0175
1693	0	UL S2	Combination		-1055.277	389.16	-847.571	-0.2716	-3069.2804	1525.0836	1693-1	0
1693	0	UL S1	Combination		-1086.393	389.809	-844.609	-0.3417	-3061.1208	1527.4381	1693-1	0
1773	0	UL S2	Combination		-1038.154	393.634	831.371	-0.2716	3509.4664	1540.5587	1773-1	0
1773	0	UL S1	Combination		-1087.245	394.409	833.318	-0.3417	3513.6483	1542.8799	1773-1	0
1373	0	SLS 3	Combination		-1289.973	559.292	166.361	-0.1665	908.8636	2190.8659	1373-1	0
1373	0	SLS 1	Combination		-1340.46	559.51	167.769	-0.2006	912.7573	2191.4367	1373-1	0
1613	0	SLS 3	Combination		-1177.233	560.664	-145.057	-0.1665	-311.3946	2197.081	1613-1	0
1613	0	SLS 1	Combination		-1200.603	561.569	-143.182	-0.2006	-305.6704	2200.5171	1613-1	0
1	0	SLS 3	Combination		-1350.876	572.55	49.109	-0.1665	449.4231	2243.027	1-1	0
1	0	SLS 1	Combination		-1401.338	572.723	51.016	-0.2006	455.2725	2243.4639	1-1	0
1533	0	SLS 3	Combination		-1306.855	572.955	-17.739	-0.1665	187.4901	2245.0324	1533-1	0
1533	0	SLS 1	Combination		-1346.616	573.318	-15.955	-0.2006	192.8567	2246.3006	1533-1	0
1453	0	SLS 3	Combination		-1254.499	577.752	16.533	-0.1665	321.7777	2263.6199	1453-1	0
1453	0	SLS 1	Combination		-1278.195	578.698	18.395	-0.2006	327.4525	2267.132	1453-1	0
1373	0	UL S2	Combination		-1710.249	673.313	201.367	-0.2716	1040.8626	2636.7932	1373-1	0
1373	0	UL S1	Combination		-1811.532	673.601	204.204	-0.3417	1048.5371	2637.2919	1373-1	0
1613	0	UL S2	Combination		-1516.19	676.734	-170.081	-0.2716	-414.6115	2651.5678	1613-1	0
1613	0	UL S1	Combination		-1563.26	678.388	-166.263	-0.3417	-403.098	2657.7728	1613-1	0
1	0	UL S2	Combination		-1783.796	689.199	61.39	-0.2716	492.3814	2699.3835	1-1	0
1	0	UL S1	Combination		-1885.054	689.399	65.239	-0.3417	504.0162	2699.625	1-1	0
1533	0	UL S2	Combination		-1707.656	690.161	-18.814	-0.2716	178.1106	2703.8383	1533-1	0
1533	0	UL S1	Combination		-1787.501	690.733	-15.191	-0.3417	188.8617	2705.7127	1533-1	0
1453	0	UL S2	Combination		-1609.327	697.162	22.209	-0.2716	338.8531	2730.9275	1453-1	0
1453	0	UL S1	Combination		-1657.042	698.904	25.993	-0.3417	350.2367	2737.2992	1453-1	0
maksimum momen										2737.2992 kN.m		
faktor pembesaran momen										1.07		
maksimum momen setelah pembesaran										2928.910144 kN.m	OK	
kapasitas maksimum sesuai brosur										3060 kN.m		

Hasil akhir didapat dengan analisis yang dilakukan di atas dengan hasil defleksi atau *displacement* maksimum adalah 10.36 mm memenuhi dari batasan maksimum sebesar $L/200+1.25$ cm sebesar 37.5 cm Pada kondisi ini struktur Pile Slab memenuhi ketentuan. Momen pada struktur sebesar 2928 kN/m sesuai batas kemampuan Spun Pile D 120 cm Tipe B, yaitu sebesar 3060 kN/m sesuai spesifikasi yang dikeluarkan oleh pabrik

precast. Dari hasil analisis akhir dapat disimpulkan struktur sudah aman.

E. KESIMPULAN

Proses modifikasi dimensi sebagai alternatif tujuan penelitian dalam mencari solusi permasalahan dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Pembesaran penampang tiang-pancang dari spun pile D-60 cm type B diperbesar menjadi spun

pile D-120 cm type B, nilai displacement dan momen yang berubah menjadi kecil setelah pembesaran. Dengan demikian peningkatan kapasitas pile-slab dapat terwujud dan menjadi solusi alternatif pada kondisi tanah lunak.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk membandingkan estimasi biaya dari beberapa solusi yang dihasilkan dan menganalisis sampai ke waktu perkerjaan pembuatan struktur Pile Slab.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada rektor Institut Teknologi Garut, atas pendanaan, fasilitas yang telah diberikan selama penelitian ini dilakukan. Semoga mendapat balasan dari Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan. Badan Standarisasi Nasional.*
- Brown, D. A., Reese, L. C., & O'Neill, M. W. (1987). Cyclic lateral loading of a large-scale pile group. *Journal of Geotechnical Engineering*, 113(11).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1987\)113:11\(1326\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1987)113:11(1326))
- Kurniadi, A., Rosyidin, I. F., Indarto, H., & Atmono, I. D. (2015). Desain Struktur Slab on Pile. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4).
- Lestari, L. L., Propika, J., & Puspasari, A. D. (2020). Axial Bearing Capacity Analysis of Pile Foundation using Nakazawa Method. *Jurnal IPTEK*, 24(1).
<https://doi.org/10.31284/j.iptek.2020.v24i1.900>
- Munir, M., & Yakin, Y. A. (2018). 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) (Hal. 105-116). *RekaRacana: Jurnal Teknol Sipil*, 4(3).
<https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i3.105>
- SNI 1725:2016 Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2016). *Pembebanan untuk jembatan.*
- Wahyu, D., & Pamungkas, T. (2019). *Analysis of Power Support Behind Pile and Girder Bridge Abutment Randumerak Load on (Case Study Village Randumerak District , District Paiton , Probolinggo).* 19(1), 80–97.
- Wibawa, G. A. (2005). *Efisiensi perencanaan jembatan pile slab dengan bentang bervariasi (Studi Kasus: Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa).* 54–62.
- Yang, Y., Yu, C., Wu, Z. X., & Tu, D. M. (2020). Mitigating the Bridge End Bump Problem: A Case Study of a New Slab System with a Lower Partition Slab-Pile Foundation. *Advances in Civil Engineering*, 2020.
<https://doi.org/10.1155/2020/7986927>
- Zhang, D., Zhang, Y., Kim, C. W., Meng, Y., Garg, A., Garg, A., & Fang, K. (2018). Effectiveness of CFG pile-slab structure on soft soil for supporting high-speed railway embankment. *Soils and Foundations*, 58(6), 1458–1475.
<https://doi.org/10.1016/J.SANDE.2018.08.007>



© 2022 All rights reserved.
This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)