

Received :

Accepted:

Published :

Evaluasi Kekuatan Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Dengan Struktur *Slab On Pile* (Studi Kasus Pada *Slab On Pile* Sta 14+045 Jalan Tol IKN Paket 3a KKT Kariangau-Karang Joang)

Karmila Achmad¹ dan Baby Febriyana Cholick²

^{1,2}Politeknik Negeri Balikpapan

karmila.achmad@poltekba.ac.id

Abstract

This study aims to evaluate the load-bearing capacity and strength of the bored piles based on their dimensions and soil testing parameters. SOP 1 STA 14+065 is part of the IKN Toll Road Package 3A KKT Kariangau-Karangjoang, which uses pile slabs due to the soft soil conditions along the road's alignment. A PDA test was conducted to assess the load-bearing capacity of bored pile foundations with an 800 mm diameter with varying depths. Samples from Pile Points P4 B 131 and P4 B 152 were selected because they did not meet the minimum PDA target of 419.6 tons, raising concerns about potential settlement or even structural failure.

Analysis and calculation of loads on slab on pile are calculated manually based on SNI 1725 of 2016 "Pembebanan untuk Jembatan" and SNI 2833 of 2016 "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa" with loads acting on the slab in the form of dead loads, traffic loads and environmental action loads. The bearing capacity is based on PDA tests and static methods. Analysis of the strength of bored pile foundations uses SAP2000 V14.2.2 software.

The PDA test showed that the bearing capacity at points P4 B 131 and P4 B 152 was 296 tons and 164 tons. The results of the study were in the form of an analysis of the SOP 1 segment 6 model with the vertical strength required for the P4 B 131 and P4 B 152 piles being 645.25 kN (65.8 tons) and 435.36 kN (44.4 tons). The permitted bearing capacity for the P4 B 131 and PA B 152 piles was 118 tons and 65 tons based on the PDA test and 103.166 tons and 109.065 tons from the static analysis results. This indicates that the bored pile is safe with the available bearing capacity being greater than required. The difference in bearing capacity values at each point is influenced by the variability of the soil between points. At point P4 B 131, there is a dense layer in contact with rock/gravel that increases the bearing so that the actual PDA value is greater than the static approach estimate. Meanwhile, at point PA B 152, it penetrates a soft layer or zone with high pore pressure so that the actual PDA value is lower.

Keywords : Slab on pile, PDA Test, Bearing capacity, Bored pile, SAP2000

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung serta kekuatan *bored pile* berdasarkan dimensi dan parameter pengujian tanah. SOP 1 STA 14+065 adalah bagian dari Jalan Tol IKN Paket 3 A KKT Kariangau-Karangjoang yang menggunakan *pile slab* karena melalui trase jalan bertanah lunak. Tes PDA dilakukan untuk menguji kekuatan daya dukung pondasi *bored pile* berdiameter 800 mm dengan kedalaman yang bervariasi. Sampel tiang dengan Titik P4 B 131 dan Titik P4 B 152 dipilih karena tidak memenuhi target minimum PDA yaitu 419,6 ton, sehingga di khawatirkan terjadi penurunan bahkan kegagalan struktur.

Analisis dan perhitungan beban pada *slab on pile* dihitung secara manual berdasarkan SNI 1725 Tahun 2016 "Pembebanan untuk Jembatan" dan SNI 2833 Tahun 2016 "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa" dengan beban yang bekerja pada slab berupa beban mati, beban lalu lintas dan beban aksi lingkungan. Kapasitas daya dukung berdasarkan test PDA dan metode statis. Analisis kekuatan pondasi *bored pile* menggunakan *software* SAP2000 V14.2.2.

Test PDA menunjukkan kapasitas daya dukung di titik P4 B 131 dan P4 B 152 sebesar 296 ton dan 164 ton. Hasil penelitian berupa analisis model SOP 1 segmen 6 dengan kekuatan vertikal yang dibutuhkan tiang P4 B 131 dan

P4 B 152 adalah 645,25 kN (65,8 ton) dan 435,36 kN (44,4 ton). Kapasitas daya dukung izin pada tiang P4 B 131 dan PA B 152 yaitu 118 ton dan 65 ton berdasarkan test PDA serta 103,166 ton dan 109,065 ton dari hasil analisa statis. Hal ini menunjukkan bahwa *bored pile* aman dengan kapasitas daya dukung yang tersedia lebih besar dari yang diperlukan. Perbedaan nilai daya dukung di masing-masing titik dipengaruhi adanya variabilitas tanah antar titik. Di titik P4 B 131 terdapat lapisan padat yang bersinggungan dengan batuan/kerikil yang meningkatkan *tor-bearing* sehingga nilai PDA aktual lebih besar dari estimasi pendekatan statis. Sedangkan dititik PA B 152 menembus lapisan lunak atau zona dengan tekanan pori yang tinggi sehingga nilai PDA aktual lebih rendah.

Kata kunci : Slab on pile, Tes PDA, Kapasitas daya dukung, Tiang bor, SAP2000

1. Pendahuluan

Ibu Kota Negara akan dibangun untuk mencapai target Indonesia sebagai negara maju, sesuai Visi Indonesia 2045. Lokasi Pemindahan IKN terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Kalimantan timur memiliki topografi bergelombang dari kemiringan landai sampai curam, dengan ketinggian berkisar antara 0-1500 m di atas permukaan laut dengan kemiringan antara 0-60%. Dilihat dari topografi, sebagian besar atau 43,35% wilayah daratan termasuk dalam kemiringan diatas 40% dan 43,22% terletak pada ketinggian 100-1000 meter di atas permukaan laut, sehingga pemanfaatan lahan di Provinsi Kalimantan Timur harus memperhatikan karakteristik lahan tersebut [1].

Jalan Tol IKN Segmen 3A merupakan salah satu proyek di Balikpapan yang mendukung pembangunan IKN. Beberapa Trase jalan pada pembangunan jalan tol segmen 3A melewati daerah rawa dan aliran sungai. Lahan rawa yaitu daerah rawa atau lahan rawa dapat diartikan sebagai daerah paya, rawa, gambut atau air, yang terjadi secara alami atau buatan, bersifat permanen atau sementara, dengan air yang statis atau mengalir, segar, payau atau asin, termasuk area air laut yang tidak lebih dari enam meter [2]. Berdasarkan data hasil investigasi tanah menggunakan metode sondir dan boring test diperoleh kedalaman tanah lunak pada lokasi proyek mencapai 5 hingga 11 m dari permukaan tanah asli

Slab on pile merupakan struktur yang digunakan untuk membangun trase jalan diatas permukaan tanah apabila pada lokasi pembangunan terdapat tanah lunak dengan kedalaman lebih dari 5 meter, serta tidak

memungkinkan untuk melakukan urugan serta penimbunan tanah menggunakan timbunan pilihan. Tanah lunak memiliki daya dukung sangat rendah, oleh karena itu slab on pile menggunakan sistem fondasi kelompok tiang sebagai perkuatan pada tanah lunak karena tiang dapat mencapai dan bertumpu pada tanah keras.

Penelitian yang dilakukan oleh Tarigan dkk [3] membuktikan bahwa slab on pile efektif digunakan untuk penanganan tanah lunak serta memberikan kapasitas daya dukung yang aman, dimana hasil penelitian menggunakan data SPT diperoleh besar daya dukung tiang pancang tunggal dengan Metode Meyerhof sebesar 91,01 ton (aman). Berdasarkan hasil perhitungan data CPT, besar daya dukung tiang pancang tunggal dengan Metode Aoki dan De Alencar sebesar 92,17 ton (aman), Metode langsung sebesar 216,971 ton (aman), dan Metode Philipponnat sebesar 89,344 ton (aman). Hal tersebut diperkuat oleh Waruwu dkk [4] Tiang yang dipasang dengan pelat dapat mereduksi penurunan dan mengurangi lendutan pelat, sehingga meningkatkan kemampuan tanah gambut dalam menerima beban timbunan maupun beban-beban lainnya.

Namun pada segmen 6 titik P4 B131 dan P4 B152 diperoleh hasil tes PDA kurang dari rencana. Bored pile pada Slab on pile 1 menggunakan diameter 800 mm. Titik P4 B131 memiliki kedalaman 24,075 m, sedangkan titik P4 B152 memiliki kedalaman tertanam 25,075 m. Kapasitas daya dukung yang kurang dari rencana dikhawatirkan dapat menyebabkan terjadinya penurunan pada tiang. Penurunan yang melebihi batas toleransi harus dihindari karena dapat menyebabkan kerusakan dan

kegagalan struktur mengingat jalan tersebut merupakan penghubung antar kota dan akan dilalui banyak kendaraan.

2. Metoda Penelitian

Metode pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kapasitas daya dukung antara hasil tes PDA (*Pile Driving Analyzer*) dengan perhitungan menggunakan metode pendekatan statis. Penggunaan perhitungan metode pendekatan statis dipilih menyesuaikan dengan data parameter tanah yang merupakan hasil dari tes *Bor Log* dan Sondir.

Beban yang bekerja pada tiang berupa beban permanen, beban lalu lintas, dan aksi lingkungan mengacu pada SNI 1725 Tahun 2016 “Standar Pembebanan untuk Jembatan” [5]. Pada aksi lingkungan digunakan pengaruh akibat temperature dan beban gempa. Menurut kurniadi dkk [6] Konsep perencanaan pada *slab on pile* harus tahan terhadap gempa, sehingga diharapkan struktur tidak mengalami kegagalan struktur apabila terjadi gempa ringan, sedang, ataupun kuat. Sehingga spesifik perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 2833 Tahun 2016 “Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa”.

Pondasi tiang yang digunakan merupakan pondasi tiang cor di tempat. Pekerjaan pengeboran tanah pada pemasangan tiang menyebabkan perubahan kuat geser tanah lempung yang serius [7].

Kapasitas ijin tiang diperoleh dari hasil bagi kapasitas ultimit dengan besar faktor keamanan tertentu. Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan pondasi tiang sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Faktor aman yang disarankan . Reese dan O'Neill (1989)

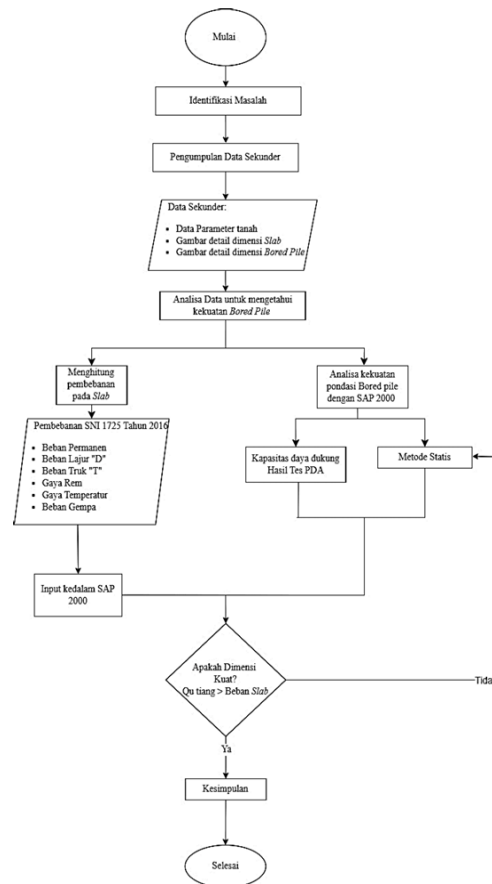
Klasifikasi Struktur	Faktor aman (F)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4,0
Permanen	2,0	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

Sumber: *Teknik Pondasi II Edisi 4* [7]

Untuk mengetahui gaya vertikal tiang berdasarkan kombinasi pembebanan, aplikasi

SAP2000 V.14.2.2 digunakan untuk memodelkan kembali Slab on pile dan menginput pembebanan yang akan diterima tiang. Aplikasi SAP2000 dipilih karena ideal untuk analisis dan desain beragam model struktur. Struktur dapat dimodelkan, dianalisis, dirancang, dan dioptimalkan menggunakan pemodelan berbasis objek yang praktis dan intuitif serta menyederhanakan proses rekayasa [8].

Agar penelitian ini dapat memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan dan terarah, maka dibuatlah bagan alir penelitian (*flowchart*) sebagai pedoman pelaksanaan. Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. Hasil Penelitian

Sebelum menggunakan Aplikasi SAP 2000 V.14.2.2, pembebanan perlu dihitung terlebih dahulu. Pembebanan pada *slab* dapat dihitung menggunakan SNI 1725 Tahun 2016

“Standar Pembebanan untuk Jembatan” sebagai pedoman.

3.1. Hasil Pembebanan pada Slab on Pile

Beban yang digunakan pada penelitian meliputi beban mati struktur, beban mati tambahan, beban lajur “D”, pengaruh temperature, dan beban gempa. Beban mati struktur dan beban mati tambahan pada 1 bentang PH ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan beban permanen SOP 1 (*Slab on pile*)

BEBAN PERMANEN						
JENIS BERAT	Dimensi			Berat jenis (kN/m ³)	Jumlah	Berat (kN)
	Lebar (m)	tebal (m)	Panjang (m)			
ASPAL	17,15	0,25	6,98	22		658,3885
SLAB PRECAST						
S1A	2,3	0,4	6,98	24	6	924,7104
S2A	1,75	0,4	6,98	24	1	117,264
S3A	1,75	0,4	6,98	24	1	117,264
PILE HEAD	17,15	1	1,4	24	1	576,24
PARAPET						
	0,25	0,78	6,5	24		66,68064
	0,298	0,25	6,5	24	2	31,122
	0,5	0,17	6,5	24		26,52
TOTAL						2518,19

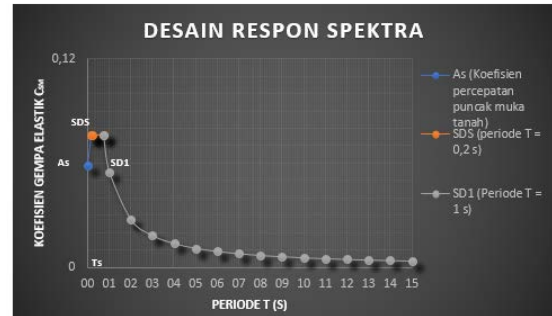
Beban lalu lintas yang akan digunakan yaitu beban lajur “D”. Besar beban pada pembebanan lajur “D” ditentukan oleh lebar lajur pada jembatan (beban arah melintang). SOP 1 memiliki 3 lajur untuk 1 jalur jalan dengan lebar 17,15 m. Beban lajur “D” terdiri dari BTR dan BGT. Besar intensitas q pada BGT merujuk pada SNI 1725 Tahun 2016. Bentang *slab precast* antar tiang yaitu 6,98 m, dimana 6,98 m < 9 m. Intensitas q yang digunakan yaitu 9 kPa atau 9 kN/m² karena bentang antar *pile head* kurang dari 9 m.

Selain beban BTR terdapat beban BGT. BGT dinotasikan sebagai p dan memiliki intensitas sebesar 49 kN/m. Perhitungan BGT dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Besar nilai BGT (Beban Garis Terpusat)

Besar BGT (Beban Garis Terpusat)		
Intensitas, p	=	49 kN/m
DLA	=	0,4
Lebar Lalu Lintas, b	=	17,15
Faktor beban dinamis, FBD	=	0,3
BGT	=	68,6 kN/m

Grafik beban gempa diperoleh melalui perhitungan manual menggunakan excel. Parameter beban gempa diperoleh melalui web resmi PUPR yaitu <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>. Gambar grafik serta parameter respon spektra dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 4.



Gambar 2. Grafik respon spectra lokasi penelitian

Tabel 4. Data grafik respon spectra lokasi penelitian

Lokasi	=	Balikipapan	Lintang	=	-1.1595406
			Bujur	=	116.8069704
Ss	=	0,1141			
S1	=	0,0820			
Klasifikasi	=	SB			
Situs					
PGA	=	0,0589			
Fa	=	1,0000			
Fv	=	1,0000			
FPGA	=	1,0000			
As	=	0,0589			
SDS	=	0,0761			
SD1	=	0,0547			
T0	=	0,1437			
TS	=	0,7187			
TL	=	16			

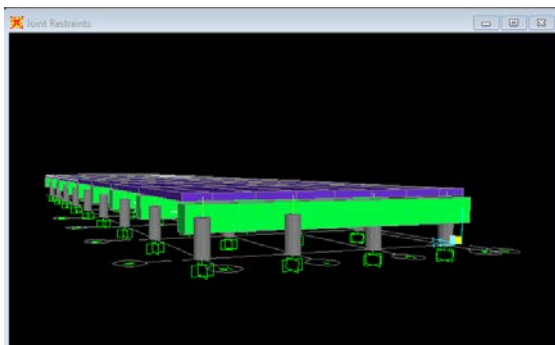
3.2. Permodelan dan Input Beban pada Slab on Pile

Analisa kekuatan menggunakan aplikasi SAP2000 dilakukan dengan memodelkan *Slab on pile* sesuai dimensi pada *Shop Drawing Elevated Pile Slab 1 STA 14+045* yang didapatkan dari PT. Indec Internusa KSO. Adapun langkah-langkah memodelkannya adalah:

1. Memilih template yang digunakan (*Grid Only*) kemudian pilih satuan

2. Input *data grid* yang diperlukan
3. Input data material yang digunakan
4. Membuat *Frame Section* untuk *bored pile* dan *pile head*
5. Membuat *Area Section* untuk *slab precast*
6. Menggambar dan memberi tumpuan pada *bored pile*
7. Menggambar *pile head*
8. Menggambar *slab precast*

Model *slab precast* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan *Slab on pile* pada SAP V.14.2.2

Langkah-langkah pembebanan *slab on pile* adalah sebagai berikut:

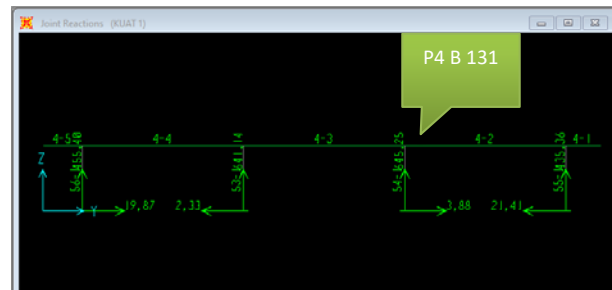
1. Membuat *load pattern* untuk beban mati, beban mati tambahan, beban lajur “D”, temperature, dan beban gempa
2. Input parameter respon spektra menggunakan *tool Function*
3. Membuat *Load case* beban gempa arah x dan y
4. Membuat *Load combination* dengan Kombinasi beban Kuat 1 dan Ekstrem 1. Input faktor beban sesuai kombinasi pembebanan.
5. Tabel 5 merupakan beban yang akan di input pada model.

Tabel 5. Beban yang di input kedalam model

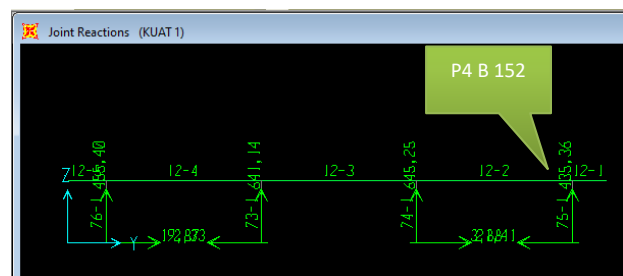
No.	Beban	Intensitas	Input beban
1.	Berat sendiri	- Beton $f'c = 30$ MPa, berat jenis beton = 24 kN/m^3 - Baja, berat jenis = $78,5 \text{ kN/m}^3$	Dihitung otomatis
2.	Beban mati tambahan	- Aspal ($t = 2,5$ cm), berat jenis aspal = 22 kN/m^3 - Parapet (Tabel 4.4)	$0,55 \text{ kN/m}^3$
3.	Beban lajur “D”	• BGT	• 9 kPa

No.	Beban	Intensitas	Input beban
		• BTR	• $68,6 \text{ kN/m}$
4.	Temperatur	40°C	
5.	Beban gempa	Gambar 4.8 dan Tabel 4.6	

6. Input beban sesuai dengan section
7. Setelah semua beban di input, Run Analysis model. SAP2000 V.14.2.2 akan menganalisis reaksi pada struktur. Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan gaya vertikal yang dibutuhkan tiang P4 B 131 dan P4 B 152.



Gambar 4. Gaya pada tumpuan model SOP 1 (*Slab on pile*) pile head PH 33



Gambar 5. Gaya pada tumpuan model SOP 1 (*Slab on pile*) pile head PH 38

Berdasarkan hasil analisis model SOP 1 (*slab on pile*) segmen 6 pada SAP2000 V14.2.2 diperoleh kekuatan yang dibutuhkan tiang P4 B 131 dan P4 B 152 untuk menopang beban yaitu sebesar $645,25 \text{ kN}$ ($65,8 \text{ ton}$) dan $435,36 \text{ kN}$ ($44,4 \text{ ton}$). Kapasitas daya dukung izin yang tersedia di tiang P4 B 131 dan P4 B 152 yaitu sebesar 118 ton dan 65 ton berdasarkan tes PDA. Berdasarkan Analisa statis diperoleh nilai $103,166 \text{ ton}$ dan $109,065 \text{ ton}$. Dari uraian tersebut didapatkan kapasitas daya dukung tiang lebih besar dari gaya vertikal yang dibutuhkan tiang sampel ($Q_a > V$ tiang), sehingga tiang dengan dimensi diameter 800

mm dan kedalaman 25,075 m mampu menahan beban *slab*.

Perbedaan nilai daya dukung di masing-masing titik dipengaruhi adanya variabilitas tanah antar titik. Di titik P4 B 131 terdapat lapisan padat yang bersinggungan dengan batuan/kerikil yang meningkatkan *tor-bearing* sehingga nilai PDA aktual lebih besar dari estimasi pendekatan statis. Sedangkan di titik PA B 152 menembus lapisan lunak atau zona dengan tekanan pori yang tinggi sehingga nilai PDA aktual lebih rendah.

Pada beberapa lokasi di SOP 1 (*Slab on pile*) STA 14+045 terdapat lensa tanah dengan lapisan batu bara setelahnya. Apabila pondasi tiang bertumpu di atas tanah lunak atau tanah keras semu (lensa tanah), maka kemungkinan kurangnya kapasitas daya dukung dan penurunan pada pondasi tiang dapat terjadi. Hal tersebut menyebabkan pondasi *bored pile* tidak dapat memikul beban yang direncanakan dan berakibat kegagalan struktur. Selain faktor beban berlebih yang diterima pondasi tiang (*bored pile*), posisi tanah keras juga mempengaruhi kekuatan daya dukung tiang. Pondasi tiang menumpu diatas tanah keras sebagai perkuatan.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Dari hasil analisis model SOP 1 segmen 6 pada SAP2000 V14.2.2 dan kapasitas daya dukung tiang kedua sampel menunjukkan bahwa dimensi tiang mampu menahan beban *slab*.
2. Kurangnya kapasitas daya dukung serta penurunan pada tiang bisa terjadi akibat pondasi *bored pile* menumpu di atas lensa tanah.

5. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Kapasitas daya dukung tiang akan lebih akurat apabila parameter yang digunakan diperoleh dari hasil pengujian tanah di titik yang tidak jauh dari lokasi tiang.

2. Penggunaan aplikasi SAP2000 dapat digunakan untuk mengetahui interaksi struktur tanah. Namun terbatasnya *tools* terkait parameter tanah, penggunaan aplikasi SAP2000 yang biasanya untuk struktur bagian atas bangunan maupun jembatan, serta beberapa faktor lainnya sehingga penggunaan aplikasi geoteknik lebih disarankan. Penggunaan aplikasi geoteknik seperti PLAXIS dapat digunakan pada penelitian selanjutnya agar memudahkan dalam menganalisa dan memodelkan pondasi tiang.

6. Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur, "KONDISI WILAYAH Provinsi Kalimantan Timur," Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur. Accessed: Feb. 04, 2023. [Online]. Available: <https://kaltimprov.go.id/halaman/kondisi-wilayah>
- [2] A. Fahmi and N. Wakhid, "Karakteristik Lahan Rawa," *Agroekologi Rawa*, no. November, pp. 91–118, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/328800813>
- [3] B. Tarigan, S. Gandi, and M. I. Yani, "Analisis Daya Dukung Pile Slab Jembatan Layang Jalan Bukit Rawi Kalimantan Tengah," *J. Kacapuri J. Keilmuan Tek. Sipil*, vol. 3, no. 2, p. 233, 2020, doi: 10.31602/jk.v3i2.4285.
- [4] A. Waruwu, H. C. Hardiyatmo, and A. Rifa'i, "Studi Eksperimental Pembebanan Pelat yang Diperkuat Tiang pada Tanah Gambut," *Semin. Nas. Geotek. 2016 HATTI Yogyakarta*, no. July, pp. 53–59, 2016.
- [5] BSN, "SNI 1725-2016 Standar pembebanan untuk jembatan," 2016.
- [6] A. Kurniadi, I. F. Rosyidin, H. Indarto, and I. D. Atmono, "Desain Struktur Slab on Pile," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 4, pp. 57–68, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>

- [7] H. C. Hardiyatmo, "Teknik Fondasi II," Gajah Mada Univ. Press, p. 316, 2008.
- [8] A. Habibullah, "SAP 2000," 19 Oktober. Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://wiki.csiamerica.com/display/sap2000/Home>