

Kajian Kapasitas Daya Dukung *Spun Pile* yang Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Lapis Likuifaksi Studi Kasus Jembatan Serangan dengan Program Ensoft

RAFFLY MUHAMMAD DARMAWAN^{1*}, IKHYA²,
MUFIDHIANSYAH FAHMI SANDWIADJI³

¹Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²Dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: raffly.md@gmail.com

ABSTRAK

Fondasi spun pile merupakan salah satu jenis fondasi yang sudah sangat populer, terutama untuk struktur jembatan. Pada perencanaan suatu fondasi tiang sangat penting dilakukan analisis daya dukung untuk memastikan bahwa fondasi tersebut mampu menahan beban struktur di atasnya. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis fondasi spun pile menggunakan perhitungan analitik dengan alat bantu program Ensoft. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan pengaruh tahanan friksi negatif dan lapisan yang berpotensi likuifaksi serta meninjau fixity point. Hasil analisis daya dukung berupa kapasitas aksial, kapasitas lateral, dan kapasitas momen yang akan dibandingkan dengan gaya yang diperoleh dari data pembebanan Jembatan Serangan diharapkan mendapatkan nilai kritis yang melebihi angka 1 sehingga diperoleh jumlah tiang yang optimum. Pada variasi tahanan friksi negatif dan lapisan yang berpotensi likuifaksi diperoleh nilai ratio perbandingan antara kapasitas dengan gaya yang bekerja sebesar 1,58 untuk aksial; 1,17 untuk lateral; 1,25 untuk momen; dengan jumlah tiang sebanyak 90 buah dipengaruhi kondisi layan dan gempa.

Kata kunci: daya dukung, ensoft, likuifaksi, spun pile, tahanan friksi negatif

ABSTRACT

Spun pile foundation is a popular deep foundation type, mainly for the construction of bridge. For designing a pile foundation, it is important to analyze the bearing capacity to ensure that the foundation is able to restrain the structure load. The objective of this paper is to analyze spun pile foundation using analytical model in Ensoft software. The analysis was done by using the resistance of negative skin friction and the layer that has the potential for liquefaction with observing the fixity point. The results of the carrying capacity analysis in the form of axial capacity, lateral capacity, and moment capacity that will be compared to the force obtained from the attack bridge loading data are expected to get a critical value that exceeds the number 1 so that the optimum number of poles are obtained. In the variation of negative friction resistance and potentially liquefaction layers obtained a ratio of comparison between capacity with working force of 1.58 for axial, 1.17 for lateral, 1.25 for moment, with the number of poles as many as 90 pieces affected by service conditions and earthquakes.

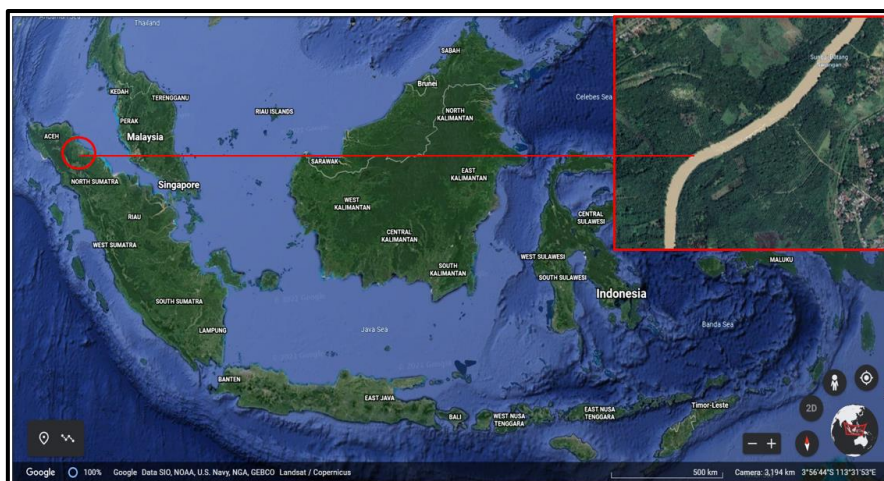
Keywords: bearing capacity, ensoft, liquefaction, spun pile, negative skin friction

1. PENDAHULUAN

Peranan fondasi bagi struktur jembatan berfungsi untuk menerima beban-beban dari struktur di atasnya yang kemudian disalurkan ke tanah. Perencanaan fondasi harus mempertimbangkan berbagai aspek, selain dari kondisi tanah, beban bangunanpun sangat mempengaruhi dalam pemilihan jenis maupun material fondasi dalam memperhitungkan daya dukung.

Namun demikian dibutuhkan pembuktian melalui serangkaian percobaan dan penelitian terhadap kapasitas daya dukung fondasi, sehingga diharapkan perencanaan yang optimal akan tercapai. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, akan dilakukan sebuah studi analisis mengenai perencanaan fondasi jembatan yang divariasikan menggunakan pengaruh tahanan friksi negatif dan lapisan yang berpotensi likuifaksi serta meninjau *fixity point* dengan menggunakan alat bantu program geoteknik diantaranya Ensoft APILE, Ensoft LPILE, dan Ensoft Group.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang tipe *spun pile* diameter 600 mm dengan dipengaruhi tahanan friksi negatif dan lapis likuifaksi pada tanah dasar yang didominasi material lempung dan pasir yang dapat memikul beban Jembatan Serangan menggunakan program Ensoft.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi Kasus (sumber: *Google Earth, 2021*)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel partikel padat tersebut [4]. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung fondasi dari bangunan.

2.2 Fondasi

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh fondasi. Fondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh fondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya [2]. Pergerakan relatif antara tiang dan tanah menghasilkan tegangan geser di sepanjang antarmuka tiang dan tanah [5].

2.3 Daya Dukung Aksial Tiang

Kapasitas daya dukung tanah adalah kekuatan tanah untuk menahan beban yang bekerja di atasnya. Kapasitas daya dukung tanah dapat dihitung dalam **Persamaan 1**.

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (1)$$

halmana:

Q_u = daya dukung ultimit [kN],

Q_s = daya dukung selimut [kN],

Q_p = daya dukung ujung [kN].

2.4 Daya Dukung Ujung Tiang

Dalam menghitung kapasitas daya dukung ujung dengan menggunakan metode FHWA, program Ensoft APILE menganjurkan dalam **Persamaan 2**.

$$Q_p = q_p A_p \quad (2)$$

halmana:

q_p = faktor tahanan ujung [kN],

A_p = luas penampang ujung tiang [m²],

2.5 Daya Dukung Selimut Tiang

Dalam menghitung kapasitas daya dukung selimut dengan menggunakan metode FHWA, program Ensoft APILE menyajikan dalam **Persamaan 3**.

$$Q_s = \int_0^L f_s C_d dz \quad (3)$$

halmana:

f_s = tahanan gesek tiang di setiap kedalaman z [kPa],

C_d = keliling efektif tiang [m],

L = panjang tiang pada kedalaman tanah [m],

dz = koordinat kedalaman.

2.6 Tahanan Friksi Negatif

Tahanan friksi negatif merupakan gaya gesek menurun yang terjadi pada sisi-sisi tiang oleh tanah di sekitarnya. Jika suatu timbunan diletakan di atas lapisan tanah lunak maka tanah itu akan mengalami konsolidasi [3]. Sehingga untuk menghitung daya dukung ultimit suatu tiang yang terdapat tahanan friksi negatif dapat dihitung dengan **Persamaan 4**.

$$Q_{izin} = \frac{Q_u - Q_n}{FS} \quad (4)$$

halmana:

Q_{izin} = daya dukung izin [kN],

Q_n = daya dukung ultimit [kN],

FS = faktor keamanan.

2.7 Daya Dukung Lateral Tiang

Beban Lateral yang diizinkan dapat diperoleh berdasarkan 2 kriteria, yaitu dengan membagi beban ultimit dengan suatu faktor keamanan dan berdasarkan defleksi maksimum yang diizinkan. Teori Reese & Matlock menentukan kapasitas lateral ultimit berdasarkan defleksi lateral izin, metode ini menggunakan pendekatan reaksi *subgrade*.

2.8 Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena pembuburan lapisan tanah pasiran yang jenuh air sehingga lapisan tersebut kehilangan kuat gesernya akibat beban dinamik. Pada umumnya beban dinamik yang menjadi pemicu fenomena ini adalah beban guncangan gempa. Dalam menganalisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan cara pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan berdasarkan SPT [6].

2.9 Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang akan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah tiang, jarak antar tiang, arah gaya yang bekerja, dan kedudukan tiang tersebut terhadap tiang-tiang lain di sekitarnya. Oleh sebab itu, terdapat tiga tipe faktor reduksi, yaitu *side by side reduction factor*, *line by line reduction factor* dan *skewed-effect* [11] [13-15].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Data parameter tanah yang digunakan untuk memperoleh kapasitas daya dukung berdasarkan korelasi nilai SPT. Parameter yang digunakan akan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Tanah

SOIL INFORMATION													
Layer [m]	Soil Type Desc.	N-SPT	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	cu kPa	β	α	Nc	p-y	Mod. k [kN/ m ³]	ϵ_{50} [-]	fs [kPa]	qp [kPa]
3,45	CLAY	2	15,0	0	10		0,55	9		0	0,02	6	90
5	SAND	8	16,0	29	0	0,51				5.430	0	5	460
9,5	SAND	17	17,0	32	0	0,75				16.300	0	24	978
12	CLAY	2	15,0	0	10		0,55	9		0	0,02	6	90
17	CLAY	3	15,0	0	15		0,55	9		0	0,02	8	135
18,45	CLAY	5	17,0	0	25		0,55	9		0	0,01	14	225
24	CLAY	2	15,0	0	10		0,55	9		0	0,02	6	90
26,85	CLAY	15	17,0	0	75		0,55	9		54.300	0,007	41	675
28,25	SAND	22	17,0	34	0	0,20				16.300	0	2	1.265
34	CLAY	20	18,0	0	100		0,55	9		108.500	0,005	55	900
41	CLAY	33	20,0	0	165		0,54	9		108.500	0,005	88	1.485
46	CLAY	40	20,0	0	200		0,50	9		217.000	0,004	100	1.800
70	CLAY	50	20,0	0	250		0,45	9		217.000	0,004	113	2.250

Data tiang pancang tipe *spun pile* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan diameter 600 mm kelas C didapat dari WIKA Beton (2017) yang akan disajikan pada **Tabel 2**.

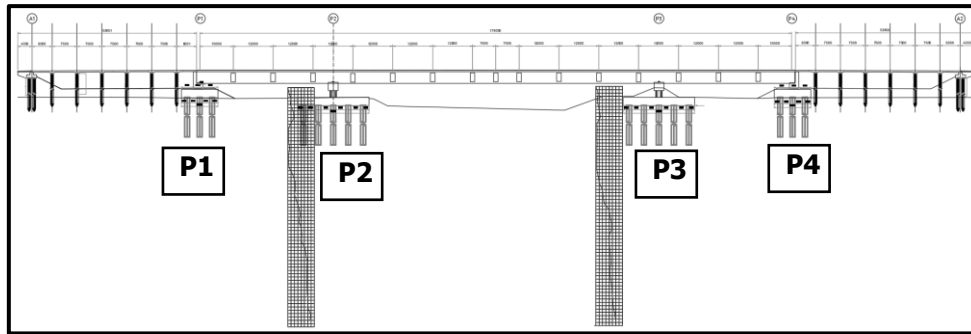
Tabel 2. Parameter Spun Pile

Size [mm]	Thickness Wall [mm]	Cross Section [cm ²]	Section Inertia [cm ⁴]	Class	Moment crack [tonm]	Moment break [tonm]	Allowable Compression [ton]	Length of Pile [m]
600	100	1.570,80	510.508,81	A1	17,00	25,50	252,70	6 – 16
				A2	19,00	28,25	249,00	6 – 17
				A3	22,00	33,00	243,20	6 – 18
				B	25,00	45,00	238,30	6 – 19
				C	29,00	58,00	229,50	6 – 20

(Sumber: Wika beton, 2017)

Sketsa denah fondasi jembatan serangan dapat dilihat pada **Gambar 2**.

*Kajian Kapasitas Daya Dukung Spun Pile yang Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Lapis Likuifaksi
Studi Kasus Jembatan Serangan Dengan Program Ensoft*

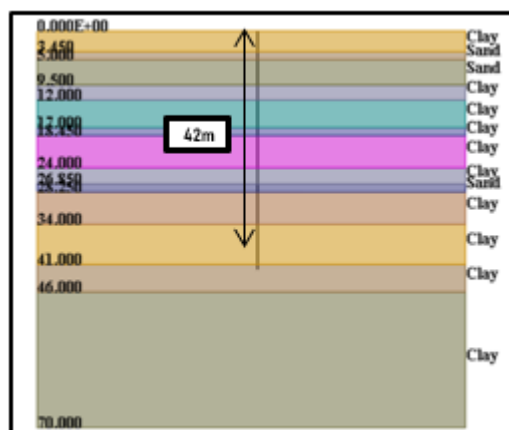


Gambar 2. Sketsa jembatan Serangan

Untuk mencapai pemodelan yang diharapkan dalam mendesain fondasi tiang [12] menggunakan program ENSOFT terdapat beberapa batasan kriteria desain minimum yang ditekankan yaitu:

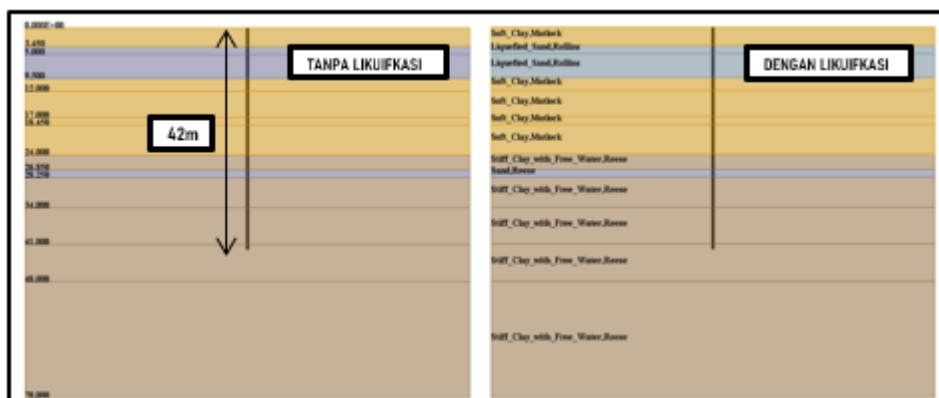
1. Sistem fondasi tiang yang digunakan harus direncanakan mampu memikul tahanan friksi negatif [10] dan potensi likuifaksi.
2. Nilai faktor keamanan yang digunakan untuk mendapatkan daya dukung aksial tekan yang diizinkan pada fondasi tiang untuk beban layan dengan faktor keamanan sebesar 2,5 sedangkan untuk beban gempa dengan faktor keamanan sebesar 1,6.
3. Besar deformasi lateral izin tiang adalah sebesar 10 mm untuk kondisi layan dan 25 mm untuk kondisi gempa atau diperoleh berdasarkan nilai momen yang mendekati momen *crack spun pile* diameter 600 mm kelas C sebesar 284,37 kN.
4. Pemodelan fondasi dalam dan metode analisis lainnya harus mempertimbangkan perencanaan sesuai dengan SNI 8460:2017 [1] dan Surat Edaran Nomor: 21/SE/Db/2021 [9].

Dalam analisis kapasitas aksial tiang dibantu dengan menggunakan program dari Ensoft APILE, metode yang akan digunakan yaitu metode FHWA (*Federal Highway Administration*) [8]. Desain tiang yang akan dianalisis yaitu merupakan *spun pile* diameter 600 mm dengan kedalaman 42 m yang dimana akan mempertimbangkan variasi tahanan friksi negatif dikarenakan terdapat timbunan di belakang *abutment* jembatan yang mengakibatkan pilar 1 tertimbun oleh timbunan setinggi 3 m dan variasi tanpa tahanan friksi negatif. Setelah didapat kapasitas aksial tiang yang sudah dibagi dengan faktor keamanan sebesar 2,5 untuk beban layan dan faktor keamanan sebesar 1,6 untuk beban gempa; kemudian akan dibandingkan dengan kombinasi pembebanan untuk menentukan jumlah tiang yang akan digunakan pada pemodelan Ensoft GROUP.



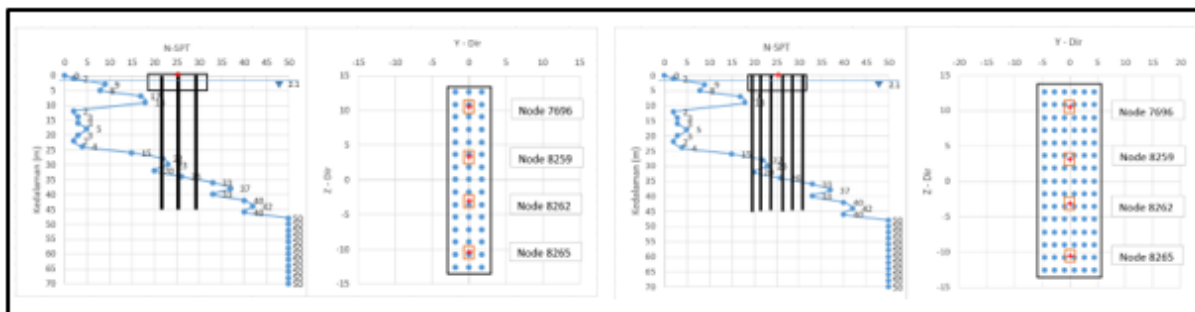
Gambar 3. Model geometri tiang tunggal menggunakan program Ensoft APILE

Dalam analisis kapasitas lateral tiang dibantu dengan menggunakan program dari Ensoft LPILE, metode yang digunakan yaitu metode Reese & Matlock. Pemodelan yang dilakukan pada program ini dipilih dengan menggunakan model kepala tiang *fixed head* dan model *cyclic*, kemudian lapisan pasir yang diduga berpotensi likuifaksi dimodelkan sebagai *liquefied sand*. Desain tiang yang akan dianalisis menggunakan *spun pile* diameter 600 mm dengan kedalaman 42 m yang dimana akan mempertimbangkan variasi lapisan likuifaksi dan variasi tanpa lapisan likuifaksi. Setelah didapat kapasitas lateral tiang dengan batasan defleksi 10 mm untuk kondisi layan dan defleksi 25 mm untuk kondisi gempa; atau diperoleh berdasarkan nilai momen yang mendekati momen *crack spun pile* diameter 600 mm kelas C sebesar 284,374 kN; kemudian akan dibandingkan dengan kombinasi pembebanan untuk menentukan jumlah tiang yang akan digunakan pada pemodelan Ensoft GROUP.

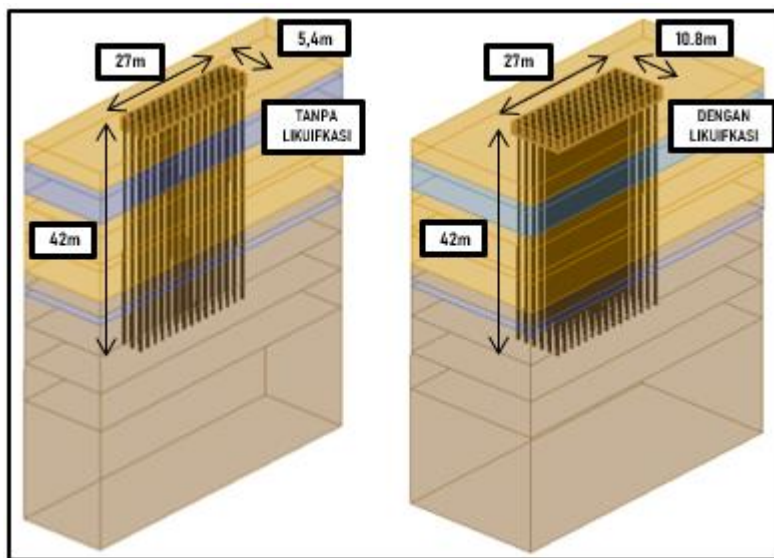


Gambar 4. Model geometri tiang tunggal menggunakan program Ensoft LPILE

Dalam analisis kapasitas kelompok tiang dibantu dengan menggunakan program dari Ensoft GROUP. Pemodelan yang dilakukan adalah 3D analysis dengan memodelkan kepala tiang menggunakan *fixed head* dan model *cyclic*, kemudian lapisan pasir yang diduga berpotensi likuifaksi dimodelkan sebagai *liquefied sand* serta memasukan beban struktur jembatan. Desain tiang yang akan dianalisis merupakan *spun pile* diameter 600 mm dengan kedalaman 42 m yang dimana tiang ini sudah duduk di atas lapisan tanah keras dengan batasan kedalaman untuk tiang *spun pile* sebesar nilai SPT 30 - 40, serta konfigurasi tiang yang dipake berdasarkan kapasitas aksial dan lateral. Setelah didapat gaya dari masing–masing kombinasi pembebanan kelompok tiang, maka hasilnya akan dibandingkan dengan kapasitas aksial, kapasitas geser, dan kapasitas momen. Hanya saja dalam penelitian ini akan dicari berapa jumlah tiang yang paling kritis, dengan cara membandingkan gaya yang bekerja terhadap kapasitas tiang hingga memperoleh nilai rasio mendekati nilai 1, yang dimana mampu memikul dari berbagai macam variasi, terdiri dari variasi tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan tanpa lapisan likuifaksi, variasi dengan dipengaruhi tahanan friksi negatif dan tanpa dipengaruhi lapisan likuifaksi, variasi tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi lapisan likuifaksi, variasi dengan dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi lapisan likuifaksi.



Gambar 5. Sketsa pemodelan *pile cap* pada kelompok tiang



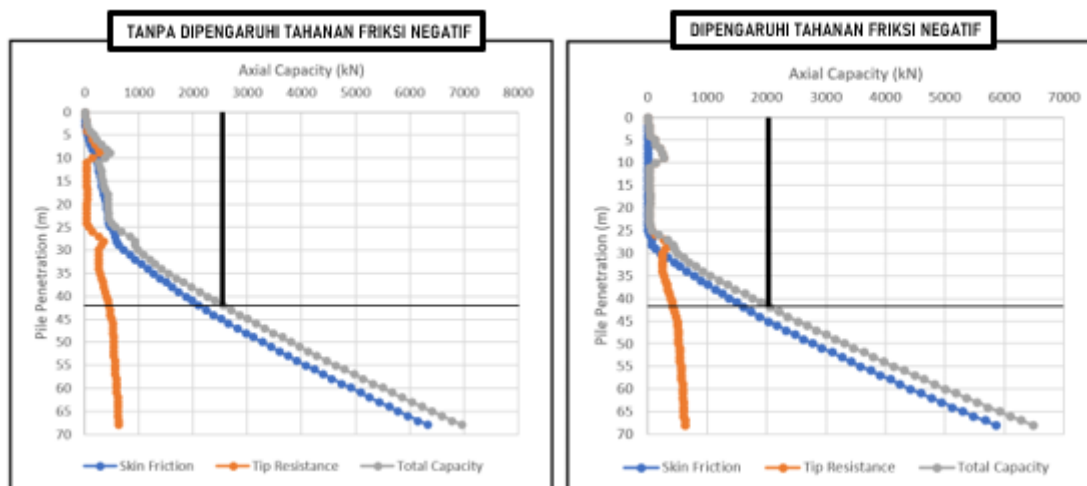
Gambar 6. Model geometri kelompok tiang menggunakan program Ensoft GROUP

4. PEMBAHASAN

Hasil pemodelan tiang tunggal pada program Ensoft APILE yang dimodelkan menggunakan metode FHWA, menghasilkan nilai daya dukung yang disajikan pada **Gambar 7** untuk variasi tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan untuk variasi dipengaruhi tahanan friksi negatif. Resume daya dukung izin aksial tiang tunggal disajikan pada **Tabel 3**. Berdasarkan **Tabel 3** tahanan friksi negatif memengaruhi daya dukung selimut sebesar 1.018,2kN.

Tabel 3. Resume Daya Dukung Izin Aksial Tunggal

Dimensi Spun Pile [mm]	BH -2B Pilar 1	Panjang Spun Pile [m]	Daya Dukung Aksial BH-2B Pilar 1			Faktor Keamanan	
			Daya Dukung Ultimit [kN]			Q_{all} [kN]	
			Q_s	Q_p	Q_u	2,5	1,6
600	Tanpa NSF	42	2.112,2	437,7	2.549,9	1.019,960	1.593,688
	NSF ± 26 m		1.094,0	437,7	1.531,7	612,680	957,313

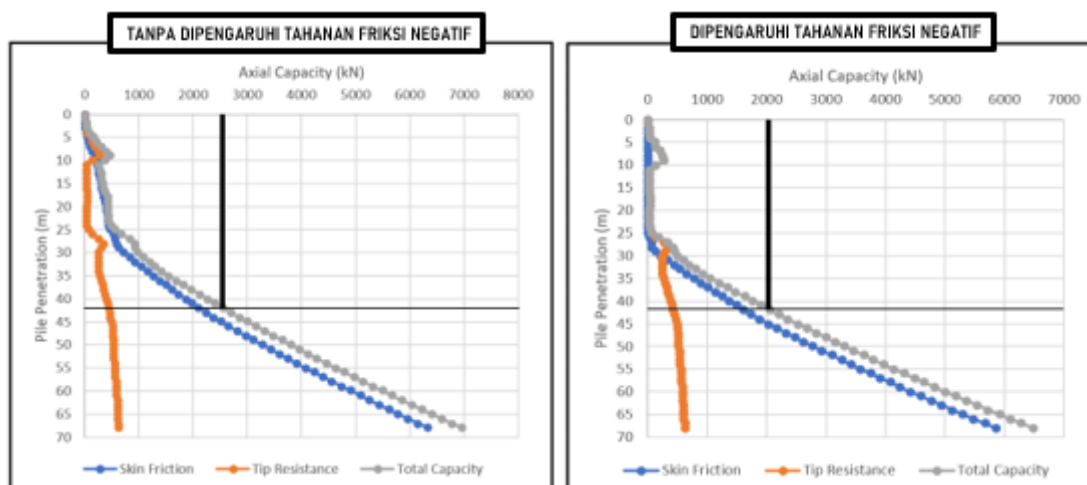


Gambar 7. Grafik kapasitas aksial tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi tahanan friksi negatif

Hasil pemodelan tiang tunggal pada program Ensoft LPILE yang dimodelkan dengan kepala tiang menggunakan *fixed head* dan model *cyclic*, menghasilkan nilai geser, momen, dan defleksi yang disajikan pada **Gambar 8** untuk variasi tanpa dipengaruhi lapisan likuifaksi dan untuk variasi dipengaruhi lapisan likuifaksi. Resume daya dukung izin lateral tiang tunggal disajikan pada **Tabel 4**. Berdasarkan **Tabel 4** lapisan likuifaksi mempengaruhi nilai geser sebesar 59,927 kN dan Momen sebesar 160,891 kNm.

Tabel 4. Resume Daya Dukung Izin Lateral Tunggal

Daya Dukung Lateral BH-2B Pilar 1 – Fixed Head							
Dimensi Spun Pile [mm]	BH -2B Pilar 1	Kondisi	Panjang Spun Pile [m]	Batas Defleksi [mm]	Geser [kN]	Momen [kN]	Faktor Reduksi Ensoft GROUP
600	Tanpa Likuifaksi	Layan	42	10	85,397	244,170	0,49
		Gempa		10	85,397	244,170	0,49
	Likuifaksi	Layan		10	25,471	83,278	0,46
		Gempa		25	44,701	175,142	0,46



Gambar 8. Grafik kapasitas lateral tanpa dipengaruhi likuifaksi dan dipengaruhi likuifaksi

Hasil pemodelan kelompok tiang pada program Ensoft GROUP yang dimodelkan dengan kepala tiang menggunakan *fixed head* dan model *cyclic*, menghasilkan perbandingan kapasitas gaya

geser, dan momen terhadap beban jembatan serangan yang disajikan dalam bentuk tabel. Untuk variasi tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan tanpa dipengaruhi lapisan likuifaksi dengan 45 jumlah tiang disajikan pada **Tabel 5** dengan nilai *fixity point* terletak pada kedalaman 3,78 m. Untuk variasi tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi lapisan likuifaksi dengan 45 jumlah tiang disajikan pada **Tabel 6** dengan nilai *fixity point* terletak pada kedalaman 3,78 m. Untuk variasi tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi lapisan likuifaksi dengan 90 jumlah tiang disajikan pada **Tabel 7** dengan nilai *fixity point* terletak pada kedalaman 9,24 m. Untuk variasi dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi lapisan likuifaksi dengan 90 jumlah tiang disajikan pada **Tabel 8** dengan nilai *fixity point* terletak pada kedalaman 9,24 m. Sesungguhnya jika jumlah tiang yang digunakan ditambah, maka akan lebih aman dengan nilai rasio yang lebih besar, tetapi dengan jumlah tiang yang sudah digunakan pada masing masing variasi, dapat disimpulkan sudah yang paling optimum, karena diperoleh nilai yang paling kritis, yaitu melebihi 1 dan mendekati nilai 1.

Tabel 5. Resume Kapasitas Kelompok Tiang terhadap Gaya Akibat Beban Layan dan Gempa Tanpa Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Tanpa Dipengaruhi Likuifaksi

Tipe Beban: Layan								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
LAYAN FULL	1.019,96	395,17	85,40	16,03	244,17	23,35	10	1,44
LAYAN MID		275,12		14,31		21,00		0,93
LAYAN NEG		389,39		16,03		23,34		1,42
LAYAN SIDE		586,68		14,99		21,53		2,26

Tipe Beban: Gempa								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
EXTREME-X	1.593,69	718,40	85,40	65,50	244,17	141,96	10	6,87
EXTREME-Y		566,40		63,68		157,26		4,92

Tabel 6. Resume Kapasitas Kelompok Tiang terhadap Gaya Akibat Beban Layan dan Gempa Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Tanpa Dipengaruhi Likuifaksi

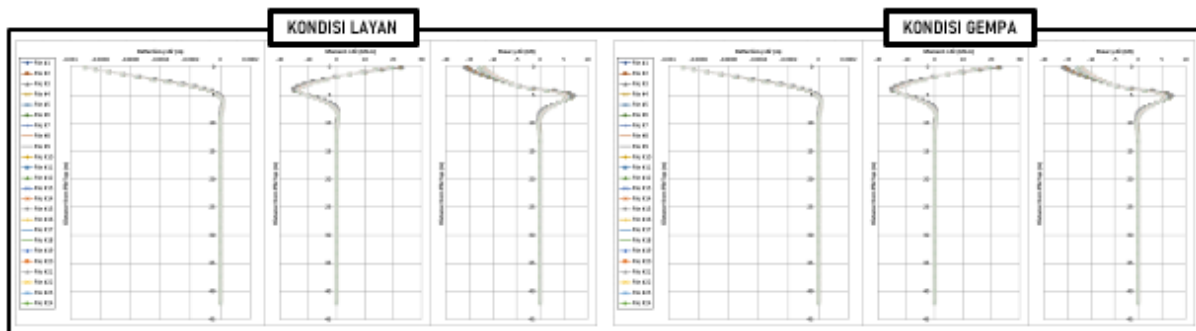
Tipe Beban: Layan								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
LAYAN FULL	612,68	399,68	85,40	14,61	244,17	28,09	10	2,77
LAYAN MID		280,49		13,03		24,94		1,94
LAYAN NEG		393,90		14,61		28,08		2,73
LAYAN SIDE		589,71		13,64		25,93		4,13

Tipe Beban: Gempa								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
EXTREME-X	975,31	702,51	85,40	59,36	244,17	113,87	10	6,40
EXTREME-Y		559,28		57,07		142,94		3,89

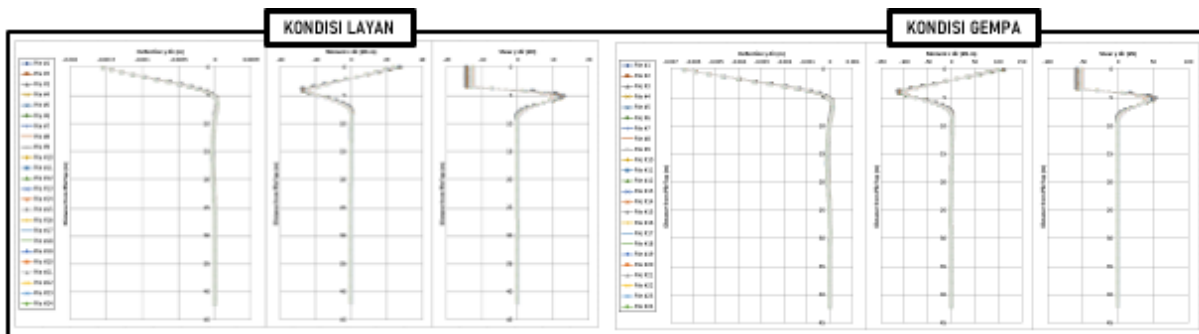
Tabel 7. Resume Kapasitas Kelompok Tiang terhadap Gaya Akibat Beban Layan dan Gempa Tanpa Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Dipengaruhi Likuifaksi

Tipe Beban: Layan								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
LAYAN FULL		291,68		8,29		34,56		4,38
LAYAN MID	1.019,96	232,35	25,47	7,59	83,28	30,70	10	3,74
LAYAN NEG		288,79		8,29		34,56		4,38
LAYAN SIDE		387,64		7,72		31,82		4,01

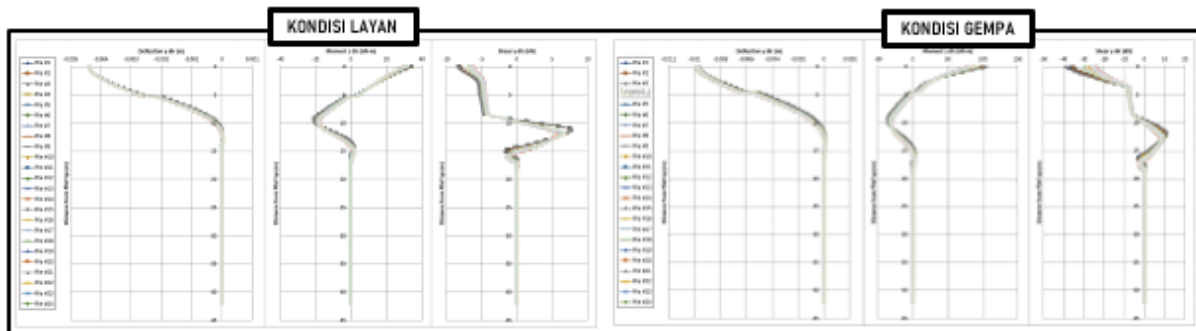
Tipe Beban: Gempa								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
EXTREME-X	1.593,69	410,47	44,70	38,72	175,14	105,47	25	9,90
EXTREME-Y		365,05		38,09		105,38		9,30



Gambar 9. Grafik gaya kelompok tiang tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan tanpa dipengaruhi likuifaksi

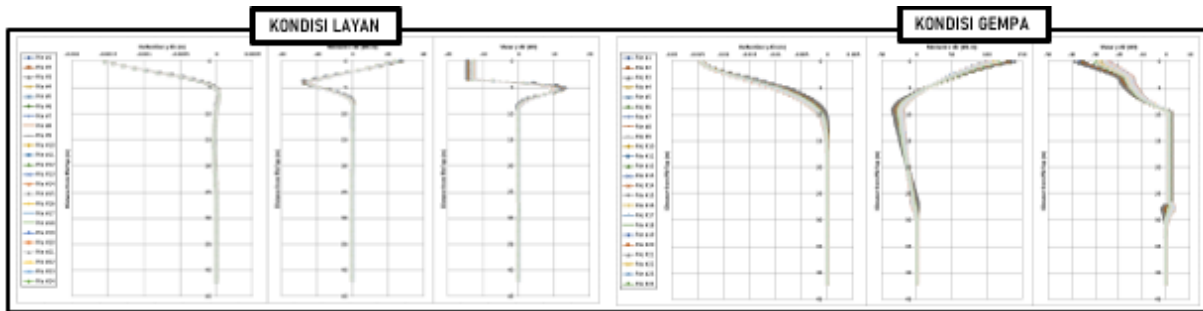


Gambar 10. Grafik gaya kelompok tiang dipengaruhi tahanan friksi negatif dan tanpa dipengaruhi likuifaksi



Gambar 11. Grafik gaya kelompok tiang tanpa dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi likuifaksi

*Kajian Kapasitas Daya Dukung Spun Pile yang Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Lapis Likuiifikasi
Studi Kasus Jembatan Serangan Dengan Program Ensoft*



Gambar 12. Grafik gaya kelompok tiang dipengaruhi tahanan friksi negatif dan dipengaruhi likuifaksi

Tabel 8. Resume Kapasitas Kelompok Tiang terhadap Gaya Akibat Beban Layan dan Gempa Dipengaruhi Tahanan Friksi Negatif dan Dipengaruhi Likuifaksi

Tipe Beban: Layan								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
LAYAN FULL		291,63		9,38		39,54		8,86
LAYAN MID	612,68	232,42	25,47	8,42	83,28	34,45	10	7,81
LAYAN NEG		288,73		9,38		39,54		8,86
LAYAN SIDE		387,74		8,79		36,76		8,29

Tipe Beban: Gempa								
Load Case	AKSIAL		LATERAL		MOMEN		DEFLEKSI	
	Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Lateral [kN]	Gaya Lateral [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	Batas Defleksi [mm]	Defleksi [mm]
EXTREME-X	975,31	422,46	44,70	38,37	175,14	140,11	25	24,37
EXTREME-Y		374,23		37,81		139,82		23,27

Tabel 9. Resume Pengaruh Dengan dan Tanpa Variasi Tahanan Friksi Negatif dan Lapis Likuiifikasi

BH-2B Pilar1 Spun Pile 600 mm	Kondisi	Aksial		Lateral		Momen		Jumlah Tiang
		Kapasitas Aksial [kN]	Gaya Aksial [kN]	Kapasitas Geser [kN]	Gaya Geser [kN]	Kapasitas Momen [kNm]	Gaya Momen [kNm]	
Variasi tanpa NSF dan Tanpa Likuiifikasi	Layan	1.019,960	586,680	85,400	16,030	244,170	23,350	45 (3x5)
	Gempa	1.593,690	718,400	85,400	65,500	244,170	157,260	
Variasi dengan NSF	Layan	612,680	589,710	85,400	14,610	244,170	28,090	45 (3x5)
	Gempa	975,313	702,510	85,400	59,360	244,170	142,940	
Variasi dengan Likuiifikasi	Layan	1.019,960	387,640	25,470	8,290	83,280	34,560	90 (6x15)
	Gempa	1.593,690	410,470	44,700	38,720	175,140	105,470	
Variasi dengan NSF dan Likuiifikasi	Layan	612,680	387,740	25,470	9,380	83,280	39,540	90 (6x15)
	Gempa	975,313	422,460	44,700	38,370	175,140	140,110	

5. KESIMPULAN

Hasil analisis dengan program Ensoft, yang terdiri dari Ensoft APILE, Ensoft LPILE, Ensoft GROUP dapat disimpulkan bahwa tahanan friksi negatif dan lapisan yang berpotensi likuifaksi

sangat mempengaruhi nilai daya dukung, sehingga membutuhkan jumlah tiang yang lebih banyak agar nilai rasio perbandingan antara kapasitas tiang dengan gaya yang bekerja menjadi aman. Geometri tanah dasar yang dimodelkan dengan tahanan friksi negatif terbukti mengurangi nilai daya dukung selimut tiang. Geometri tanah dasar yang dimodelkan dengan lapisan likuifaksi terbukti mengurangi nilai kapasitas geser, momen, dan defleksi tiang. Tahanan friksi negatif yang dimodelkan tidak mempengaruhi jarak kedalaman *fixity point* tiang. Lapisan tanah likuifaksi yang dimodelkan dapat mempengaruhi jarak kedalaman *fixity point* tiang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, (2017). *SNI 8640:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Badan Standardisasi Indonesia, Jakarta.
- [2] Bowles, J.E., (1988). *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill.
- [3] Chow, Y.K., Chin, J.T. & Lee, S.L., (1990). "Negative skin friction on pile groups." *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 14, no.2, p. 75-91.
- [4] Das, B.M., (1985). *Mekanika Tanah Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- [5] Fellenius, B.H., (1984). "Negative skin friction and settlement of piles", *Proceedings of the Second International Seminar Pile Foundations Vol. 18*, Nanyang Technological Institute, Singapore.
- [6] Idriss, I.M. & Boulanger, R.W., (2010). *SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures*, Department of Civil & Environmental Engineering College of Engineering University of California, Davis.
- [7] Irawan, C., Suprobo, P., Raka, I.G.P. & Djamaluddin, R., (2015). "A review of prestressed concrete pile with circular hollow section (spun pile)", *Jurnal Teknologi*, vol. 72, no. 5.
- [8] Kalavar, S., & Ealy, C., (2000). "FHWA deep foundation load test database in New Technological and Design Developments in Deep Foundations", *Proceedings of Sessions of Geo-Denver*, p. 192-206.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2018). *Surat Edaran Nomor: 21/SE/Db/2021 tentang Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- [10] Leung, C. F., et al., (2004). "Behavior of pile subject to negative skin friction and axial load", *Soils and Foundations*, vol. 44, no. 6, p. 17-26.
- [11] Matlock, H. & Reese, L.C., (1960). "Generalized solutions for laterally loaded piles", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 86, no. 5, p. 63-92.
- [12] Rahardjo, P. P., (2005). *Manual Fondasi Tiang Edisi 3*, Publikasi GEC, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- [13] Reese, L.C., Wang, S.T., Isenhower, W.M. & Arrellaga, J.A., (2000). *LPILE Plus 4.0 Technical Manual*, Ensoft. Inc., Austin, Texas.
- [14] Reese, L.C., Wang, S.T., Isenhower, W.M. & Arrellaga, J.A., (2010). *Computer Program GROUP Technical Manual*, Ensoft. Inc., Austin, Texas.
- [15] Reese, L.C., Wang, S.T., Arrellaga, J.A. & Vasquez, L., (2015). *A Program for the Study of Driven Piles under Axial Loads*, Ensoft. Inc., Austin, Texas.