

Studi Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Baja dengan Pengaruh *Negative Skin Friction* dan Likuefaksi

IKHYA*, MUFIDHIANSYAH FAHMI SANDWIADJI, PRIYO ADHI PRASETYO

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: ikhya@itenas.ac.id

ABSTRAK

Kondisi tanah yang terdapat pada proyek jembatan serangan yang berada pada ruas Tol Binjai-Langsa terdapat lapisan tanah berpotensi likuefaksi setebal 6 meter dan terdapatnya timbunan yang berada diatas pilecap menyebabkan negative skin friction hingga kedalaman 26 m. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh negative skin friction dan likuefaksi terhadap kapasitas tiang pancang pipa baja ujung terbuka diameter 1 m. Analisis menggunakan bantuan program Apile, Lpile dan Group untuk mendapatkan kapasitas aksial, lateral, moment dan gaya akibat beban, dimana gaya akibat beban tersebut harus lebih kecil dari pada kapasitas tiang dengan perbandingan mendekati 1. dikarenakan negative skin friction dan likuefaksi memengaruhi kapasitas dan gaya akibat beban maka pada setiap kondisi memiliki jumlah tiang yang berbeda. Pada variasi kondisi normal menggunakan 12 tiang, untuk variasi kondisi negative skin friction menggunakan 16 tiang, untuk variasi kondisi likuefaksi menggunakan 21 tiang dan kondisi negative skin friction dan likuefaksi menggunakan 45 tiang.

Kata kunci: *negative skin friction, likuefaksi, tiang pipa baja, kapasitas aksial, kapasitas lateral*

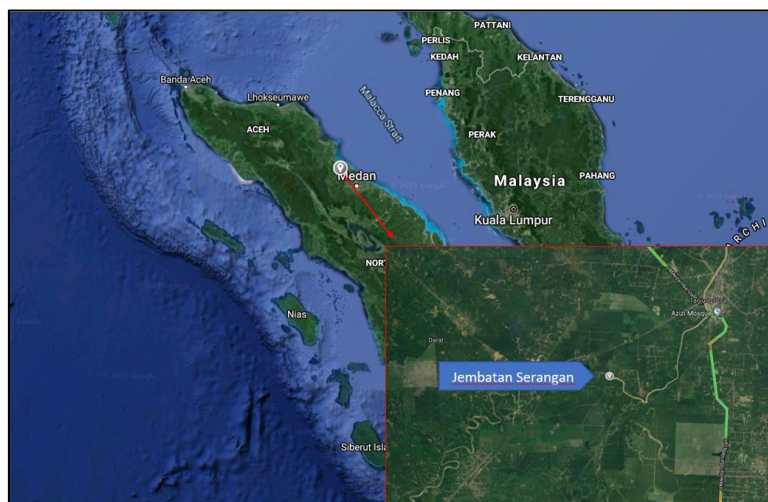
ABSTRACT

The soil condition in the Serangan bridge project which is located on the Binjai-Langsa toll road section has a layer of soil with the potential for liquefaction as thick as 6 meters and the presence of embankments above the pilecap causes negative skin friction to a depth of 26 m. The purpose of this study was to determine how the negative effect of skin friction and liquefaction on the capacity of piles of open end steel pipes with a diameter of 1 m. Analysis using the Apile, Lpile and Group programs to get the axial, lateral, moment and force due to the load, where the force due to the load must be smaller than the pile capacity with a ratio close to 1. because negative skin friction and liquefaction affect the capacity and the resulting force. load, each condition has a different number of piles. For variations in normal conditions using 12 piles, for variations in negative skin friction conditions using 16 piles, for variations in liquefaction conditions using 21 piles and for negative skin friction and liquefaction conditions using 45 piles.

Keywords: *negative skin friction, liquefaction, steel pipe piles, axial capacity, lateral capacity*

1. PENDAHULUAN

Proyek Jembatan Serangan berada pada ruas Tol Binjai Langsa Sumatera Utara seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 1**, jembatan ini terdiri dari 4 pilar dan 2 *abutment*, pilar 1 menggunakan data tanah titik BH-2B halmana pada titik ini terdapat lapisan tanah yang berpotensi likuefaksi berada dikedalaman 3,45 m hingga 9,5 m atau ketebalan likuefaksi sebesar 6 meter dan juga terdapat tanah lunak hingga kedalaman 26 m ditambah dengan timbunan yang berada diatas fondasi menyebabkan *negative skin friction*, dengan adanya kondisi tanah tersebut akan memengaruhi daya dukung fondasi yang terdapat di lokasi tersebut. Pada penelitian ini akan dilakukan studi kapasitas daya dukung tiang pancang baja dengan adanya pengaruh *negative skin friction* dan likuefaksi.



Gambar 1. Lokasi jembatan Serangan

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Tanah

Dalam desain geoteknik penentuan parameter tanah merupakan hal yang penting jika terjadi kesalahan dalam menentukan parameter tanah dapat berakibat fatal, maka dari itu parameter yang digunakan harus benar dalam menjelaskan karakteristik lapisan tanah di bawah struktur. Parameter yang digunakan dalam perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang baja antara lain nilai sudut geser friksi, berat isi, nilai kohesi tanah, *modulus of subgrade reaction* dan faktor regangan [1].

2.2 Negative Skin Friction

Pertimbangan khusus yang perlu dikaji antara lain gesekan selimut negatif tiang, tiang pada masa tanah yang bergerak, efek erosi/*scouring* pada kapasitas tiang, fenomena *heave* akibat proses konstruksi, dampak konstruksi tiang pada tanah-tanah yang mengalami kembang-susut besar dan potensi tekuk pada tiang akibat *lateral squeeze*, [8] [13].

Pada saat tiang dipancang di tanah kompresif yang memungkinkan terjadinya konsolidasi atas berat sendiri, beban yang bekerja akan ditransmisikan pada tiang melalui lekatan yaitu *negative skin friction* [10]. Pada saat urugan ditambahkan di atas tanah kompresif, akan terjadi konsolidasi pada bagian kompresif tersebut [1].

2.3 Likuefaksi

Perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi benda cair akibat meningkatnya tekanan air pori dimana nilainya menjadi sama besar dengan tekanan total pada tanah pasir, sehingga

tegangan efektifnya berkurang hingga menjadi nol. Hal ini disebabkan oleh beban gempa bumi ataupun aktivitas dinamik dipermukaan tanah yang terjadi pada tanah pasir tersebut [4] [6].

2.4 Daya Dukung Aksial

Daya dukung aksial tiang merupakan kemampuan tanah memikul beban struktur yang ditransfer melalui fondasi ke tanah [2] [3]. Daya dukung aksial dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

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

halmana:

- Q_u = daya dukung ultimit [kN],
- Q_p = daya dukung ujung [kN],
- Q_s = daya dukung selimut [kN].

2.4.1 Daya Dukung Ujung

Daya dukung ujung terbagi berdasarkan jenis tanah yang berada diujung tiang tersebut yaitu tanah kohesif atau non kohesif [12], untuk menghitung daya dukung ujung pada tanah kohesif menggunakan **Persamaan 2**, dan untuk menghitung daya dukung ujung pada tanah non kohesif menggunakan **Persamaan 3**.

$$Q_p = A_p \times c_u \times N_c \quad \dots(2)$$

$$Q_p = 57,5 \times N_{SPT} \times A_p \quad \dots(3)$$

halmana:

- A_p = luas penampang ujung tiang [m²],
- c_u = kohesi tanah ujung tiang [kN/m²],
- N_c = faktor daya dukung tiang,
- N_{SPT} = nilai n-SPT pada ujung tiang.

2.4.2 Daya Dukung Selimut

Daya dukung selimut dihitung menggunakan **Persamaan 4**. Pada perhitungan daya dukung selimut ini memiliki nilai *skin friction* yang terbagi berdasarkan jenis tanah tanah kohesif atau non kohesif. Untuk nilai *skin friction* tanah kohesif menggunakan **Persamaan 5** sedangkan untuk *skin friction* tanah non kohesif menggunakan **Persamaan 6**.

$$Q_s = f_s \times p \times \Delta L \quad \dots(4)$$

$$f_s = \alpha \times c_u \quad \dots(5)$$

$$f_s = \beta \times \sigma'_v \quad \dots(6)$$

$$N \geq 15, \beta = 1,5 - 0,135 z^{0,5} \quad \dots(7)$$

$$N < 15, \beta = \left(\frac{N}{15}\right)(1,5 - 0,135 z^{0,5}) \quad \dots(8)$$

halmana:

- f_s = *skin friction* [kN/m²],
- p = keliling tiang pancang baja [m],
- ΔL = panjang tiang [m],

- α = faktor adhesi,
 β = faktor beta,
 N = nilai N-SPT
 Z = kedalaman tanah
 σ'_v = tegangan vertikal efektif tanah.

2.5 Daya Dukung Lateral

Penurunan diferensial pada fondasi untuk mendapatkan kurva P_y dapat dihitung menggunakan **Persamaan 7**, **Persamaan 8** dan **Persamaan 9** [5] berikut:

$$EI \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} + Q \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} - P + W = 0 \quad \dots(9)$$

$$EI \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} + Q \cdot \frac{dy}{dx} = V \quad \dots(10)$$

$$EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad \dots(11)$$

halmana:

- E = modulus elastisitas tiang [kN/m²],
 I = momen inersia penampang tiang [m⁴],
 Q = beban aksial tiang [kN],
 W = distribusi beban sepanjang tiang [kN],
 P = reaksi tanah [kN.m],
 V = geser tiang [kN],
 M = momen tiang [kN.m],
 x = kedalaman dari kepala tiang [m],
 y = defleksi lateral pada kedalaman x [m].

2.6 Efisiensi kelompok tiang

Efisiensi kelompok tiang diperlukan pada kelompok tiang karena tiang memiliki jarak yang cukup dekat mengakibatkan kehilangan daya dukung dikarenakan beberapa faktor diantaranya jarak antar tiang, jumlah tiang dan arah gaya yang bekerja [2] [3].

2.7 Daya dukung kelompok tiang

Nilai daya dukung kelompok tiang diperhitungkan menggunakan **Persamaan 9** berikut.

$$Q_{group} = n \times \eta \times Q_{tunggal} \quad \dots(12)$$

halmana:

- Q_{group} = kapasitas kelompok tiang [kN],
 $Q_{tunggal}$ = kapasitas tiang tunggal [kN],
 n = jumlah tiang,
 η = efisiensi kelompok tiang.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dimulai dengan perumusan masalah dari fondasi tiang baja pada lokasi pembangunan jembatan, dan dilakukan studi pustaka dari penelitian yang relevan. Data yang dibutuhkan dari penelitian ini merupakan data parameter tanah, data pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan serta data fondasi baja. Dari data yang telah diperoleh dapat dilakukan perhitungan kekuatan aksial fondasi menggunakan program Apile, perhitungan

kekuatan lateral menggunakan program Lpile. Dan untuk memperhitungkan fondasi kelompok tiang menggunakan program Group yang dimodelkan menjadi 4 kondisi yaitu, kondisi normal, kondisi *negative skin friction*, kondisi likuefaksi dan kondisi *negative skin friction* beserta likuefaksi. Hasil yang didapatkan pada program Group ini berupa gaya yang berkerja pada masing-masing tiang.

3.2 Tahapan Pengumpulan Data

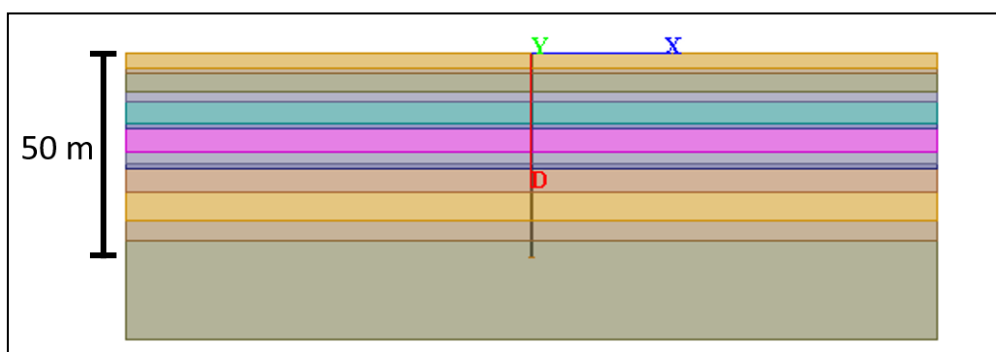
Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pihak pengelola proyek Jembatan Serangan Tol ruas Binjai Langsa. Data yang didapatkan berupa data parameter tanah yang disajikan pada **Tabel 1**. Untuk data fondasi tiang pancang baja menggunakan tiang baja dengan diameter 1.000 mm, tebal 16 mm dengan nilai modulus elastisitas 2×10^8 kN/m².

Tabel 1. Data Parameter Tanah

| Lapis [m] | Jenis Tanah | N-SPT | γ [kN/m ³] | ϕ [°] | Cu [kN/m ²] | β | α | p-y Mod., k [kN/m ³] | ϵ_{50} | fs [kN/m ²] | qp [kN/m ²] |
|-----------|-------------|-------|-------------------------------|------------|-------------------------|---------|----------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 3,45 | Clay | 2 | 15 | 0 | 10 | | 0,5 | 0 | 0,02 | 6 | 90 |
| 5 | Sand | 8 | 16 | 29 | 0 | 0,5 | | 5.430 | 0 | 5 | 460 |
| 9,5 | Sand | 17 | 17 | 32 | 0 | 0,7 | | 16.300 | 0 | 24 | 978 |
| 12 | Clay | 2 | 15 | 0 | 10 | | 0,5 | 0 | 0,02 | 6 | 90 |
| 17 | Clay | 3 | 15 | 0 | 15 | | 0,5 | 0 | 0,02 | 8 | 135 |
| 18,45 | Clay | 5 | 17 | 0 | 25 | | 0,5 | 0 | 0,01 | 14 | 225 |
| 24 | Clay | 2 | 15 | 0 | 10 | | 0,5 | 0 | 0,02 | 5,5 | 90 |
| 26,85 | Clay | 15 | 17 | 0 | 75 | | 0,5 | 54.300 | 0,007 | 41 | 675 |
| 28,25 | Sand | 22 | 17 | 34 | 0 | 0,2 | | 16.300 | 0 | 2 | 1.265 |
| 34 | Clay | 20 | 18 | 0 | 100 | | 0,5 | 108.500 | 0,005 | 55 | 900 |
| 41 | Clay | 33 | 20 | 0 | 165 | | 0,5 | 108.500 | 0,005 | 89 | 1.485 |
| 46 | Clay | 40 | 20 | 0 | 200 | | 0,5 | 217.000 | 0,004 | 100 | 1.800 |
| 70 | Clay | 50 | 20 | 0 | 250 | | 0,5 | 217.000 | 0,004 | 113 | 2.250 |

3.3 Pemodelan Tiang dengan Apile

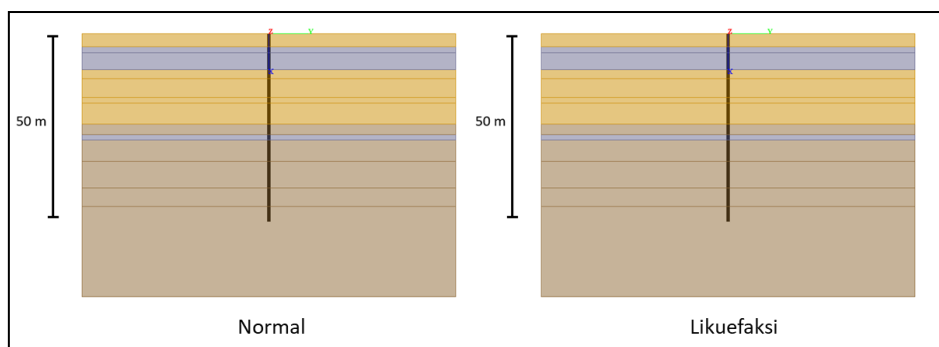
Pemodelan fondasi tiang pancang baja menggunakan program Apile (**Gambar 2**) bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitas daya dukung tiang Tunggal [11]. Dengan menggunakan data parameter tanah pada titik BH-2B menggunakan profil baja pipa dengan diameter 1000 mm dan tebal baja sebesar 16 mm. pada pemodelan di Apile dikerjakan dengan 2 kondisi yaitu kondisi pertama dengan pengaruh *negative skin friction* dari permukaan hingga kedalaman 26 m dan tanpa pengaruh *negative skin friction*. Hasil yang didapatkan dari program Apile ini berupa kapasitas aksial ultimate tiang pancang dimana hasil tersebut perlu di bagi dengan faktor keamanan untuk mendapatkan nilai kapasitas yang diizinkan.



Gambar 2. Pemodelan tiang tunggal pada Apile

3.4 Pemodelan Tiang dengan Lpile

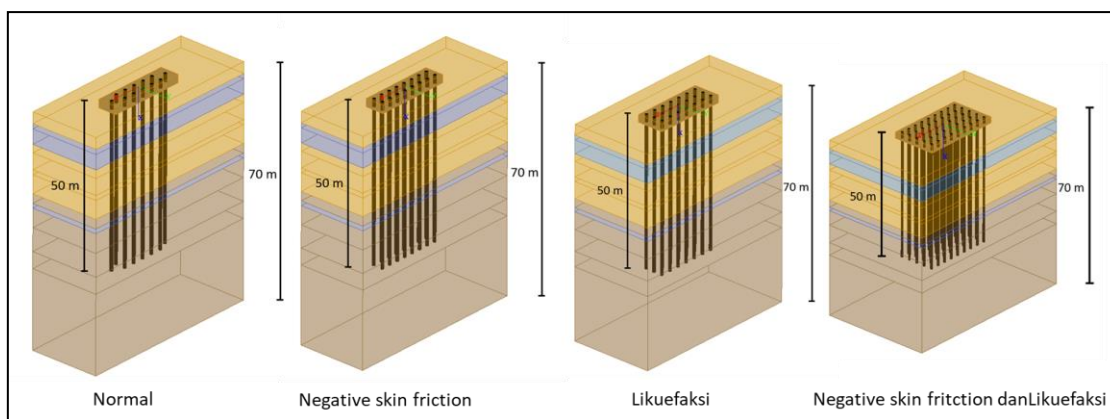
Pemodelan fondasi tiang pancang baja menggunakan program Lpile (**Gambar 3**) bertujuan untuk mengetahui gaya lateral yang terjadi pada tiang baja yaitu berupa kapasitas lateral dan kapasitas momen [7]. Pemodelan ini dilakukan dengan data parameter tanah pada titik BH-2B yang terdapat lapisan pasir likuefaksi, pemodelan tiang pancang baja ini juga dimodelkan dalam kondisi *fixed head* dengan tipe pembebanan *cyclic*.



Gambar 3. Pemodelan tiang tunggal pada Lpile

3.5 Pemodelan Kelompok Tiang dengan Group

Pemodelan fondasi tiang pancang baja menggunakan program Group (**Gambar 4**) bertujuan untuk mengetahui gaya yang terjadi pada tiang diakibatkan beban yang terjadi diatas kelompok tiang [9]. Pemodelan dilakukan dengan data parameter tanah BH-2B. Hasil yang didapatkan dari program Group ini berupa nilai gaya aksial, gaya lateral, gaya momen dan displacement yang diakibatkan dari pembebanan yang terjadi. Dimana nilai-nilai yang didapat ini dibandingkan dengan kapasitas aksial yang didapat dari program Apile dan dibandingkan dengan kapasitas lateral, kapasitas momen yang didapatkan dari program Lpile.



Gambar 4. Pemodelan kelompok tiang pada program Group

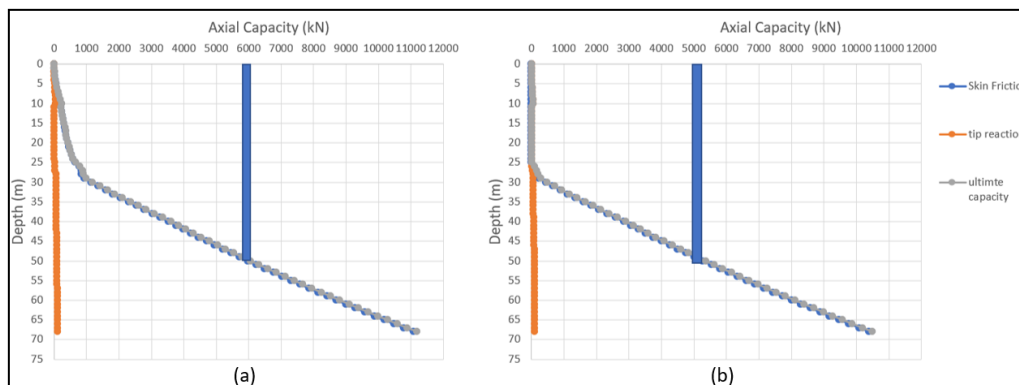
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kapasitas Aksial Tiang Tunggal

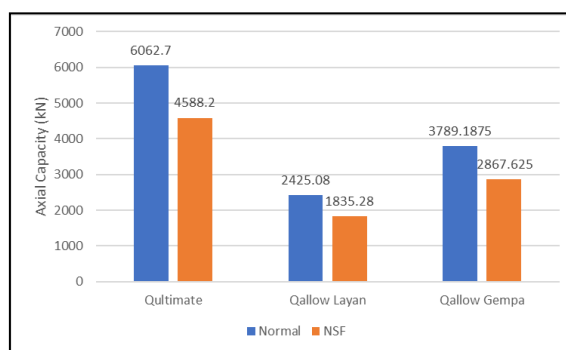
Pemodelan tiang pancang baja dimodelkan dengan ujung terbuka sepanjang 50 m dengan variasi kondisi tanah normal dan variasi kondisi tanah *negative skin friction*, dengan menggunakan nilai faktor keamanan 2,5 untuk layan dan 1,6 untuk kondisi ekstrem seperti terlihat pada **Tabel 2**, **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

Tabel 2. Resume Kapasitas Aksial Tiang Tunggal

| Kondisi | Qskin [kN] | Qpoint [kN] | Qultimate [kN] | Qallow layan SF=2,5 | Qallow gempa SF=1,6 |
|---------------------------------------|------------|-------------|----------------|---------------------|---------------------|
| Kondisi Normal | 5.970,4 | 5.971,4 | 5.972,4 | 5.973,4 | 5.974,4 |
| Kondisi <i>Negative Skin Friction</i> | 4.495,9 | 4.496,9 | 4.497,9 | 4.498,9 | 4.499,9 |



Gambar 5. Grafik kapasitas aksial tiang tunggal (a) kondisi normal dan (b) kondisi *negative skin friction*



Gambar 6. Grafik perbandingan kapasitas aksial kondisi normal dengan kondisi *negative skin friction*

Nilai kapasitas aksial pada tanah yang mengalami kondisi *negative skin friction* lebih kecil dibandingkan kondisi tanpa pengaruh *negative skin friction* hal ini terjadi dikarenakan adanya timbunan di atas tiang pancang yang mengakibatkan penurunan di sekitar tiang lebih besar daripada penurunan tiang itu sendiri, sehingga terjadi geseran antara selimut tiang ke arah bawah yang menyebabkan tiang tertarik ke bawah dan mengurangi daya dukung selimut tiang itu hingga kedalaman tanah lunak yaitu kedalaman 26 meter.

4.2 Analisis Kapasitas Lateral Tiang Tunggal

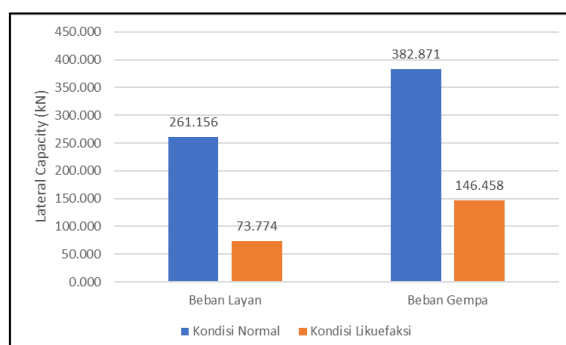
Pada pemodelan kapasitas lateral tiang tunggal dimodelkan dengan program Lpile dengan variasi kondisi tanah normal dan variasi kondisi tanah likuefaksi pada lapisan tanah 3,45 m hingga 9,5 m. Sesuai dengan peraturan fondasi jembatan diambil nilai kapasitas lateral dan kapasitas momen pada 10 mm untuk kondisi layan dan 25 mm atau defleksi sebesar 0,8 moment crack untuk kondisi ekstrem seperti terlihat pada **Tabel 3**, **Tabel 4** dan **Gambar 7**.

Tabel 3. Resume Kapasitas Lateral Tiang Tunggal

| Kondisi | Kondisi beban | Defleksi [mm] | Kapasitas Lateral [kN] | Kapasitas Momen [kN.m] |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------------|------------------------|
| Kondisi Normal | Layan | 10 | 261,156 | 969,834 |
| | Gempa | 17,5 | 382,871 | 1.524,045 |
| Kondisi Tanah Likuefaksi | Layan | 10 | 73,774 | 379,723 |
| | Gempa | 25 | 146,458 | 840,253 |

Tabel 4. Hasil Kapasitas Lateral Tiang Tunggal Kondisi Normal dan Kondisi Likuefaksi

| Kondisi Normal | | | Kondisi Likuefaksi | | |
|----------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Deflection [m] | Kapasitas Lateral [kN] | Kapasitas Momen [kN.m] | Deflection [m] | Kapasitas Lateral [kN] | Kapasitas Momen [kN.m] |
| 0,0025 | 97,374 | 305,766 | 0,0025 | 30,283 | 122,741 |
| 0,005 | 164,528 | 557,899 | 0,005 | 46,474 | 214,088 |
| 0,0075 | 215,260 | 770,240 | 0,0075 | 60,611 | 298,666 |
| 0,01 | 261,156 | 969,834 | 0,01 | 73,774 | 379,723 |
| 0,0125 | 303,882 | 1.160,736 | 0,0125 | 86,401 | 458,740 |
| 0,015 | 344,276 | 1.345,023 | 0,015 | 98,691 | 536,331 |
| 0,0175 | 382,871 | 1.524,045 | 0,0175 | 110,777 | 613,055 |
| 0,02 | 420,017 | 1.698,879 | 0,02 | 122,742 | 689,219 |
| 0,0225 | 455,911 | 1.869,740 | 0,0225 | 134,620 | 764,874 |
| 0,025 | 490,685 | 2.036,921 | 0,025 | 146,458 | 840,254 |

**Gambar 7. Grafik perbandingan kapasitas lateral kondisi normal dengan kondisi likuefaksi**

Lapisan pasir Likuefaksi sangat memengaruhi kapasitas lateral sehingga mengakibatkan kapasitas lateral kondisi likuefaksi jauh lebih kecil dibandingkan kondisi normal.

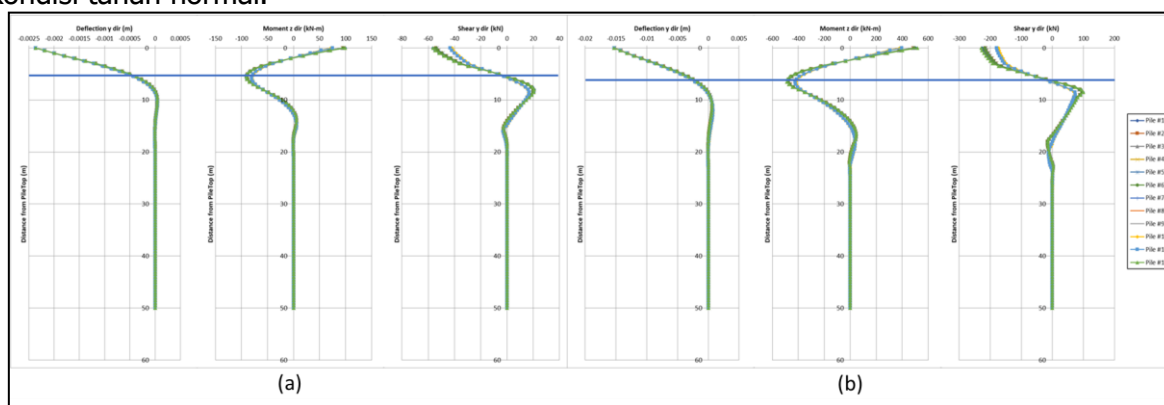
4.3 Analisis Daya Dukung kelompok Tiang

Hasil analisis perhitungan menggunakan program Group berupa gaya aktual dibandingkan dengan kapasitas. Pemodelan kelompok tiang dibuat berdasarkan variasi kondisi tanahnya seperti terlihat pada **Tabel 5 hingga Tabel 8** dan **Gambar 8 hingga Gambar 11**.

Tabel 5. Perbandingan Kapasitas Tiang terhadap Gaya Aktual Kondisi Normal Menggunakan 12 Tiang

| LAYAN | AKSIAL | | LATERAL | | MOMEN | | DEFLEKSI | |
|------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------|
| | Kapasitas Aksial [kN] | Gaya Aksial [kN] | Kapasitas Lateral [kN] | Gaya Lateral [kN] | Kapasitas Momen [kNm] | Momen [kNm] | Batas Defleksi [mm] | Defleksi [mm] |
| Layan Full | 2.425,08 | 1.487,7 | 261,156 | 56,35 | 956,834 | 99,358 | 10 | 2,368 |
| Layan Mid | | 1.040,7 | | 30,773 | | 86,614 | | 2,061 |
| Layan Neg | | 1.466 | | 56,349 | | 99,334 | | 2,367 |
| Layan Side | | 2.189,3 | | 53,063 | | 71,803 | | 2,602 |
| Extreme Y | 3.789,19 | 2.652,9 | 382,871 | 229,18 | 1.524,04 | 517,53 | 17,5 | 15,298 |
| Extreme X | | 2.119,6 | | 225,2 | | | | 791,99 |

Dari **Tabel 5** dapat diketahui pada kondisi tanah normal nilai perbandingan kapasitas dengan gaya akibat beban memiliki nilai lebih dari 1 atau nilai gaya akibat beban masih lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas maka kelompok tiang dengan 12 tiang aman digunakan untuk kondisi tanah normal.

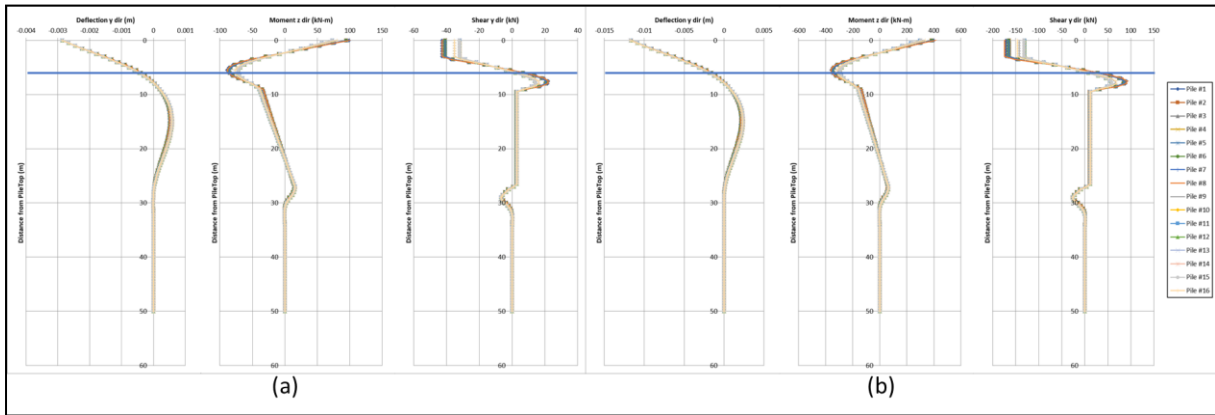


Gambar 8. Grafik gaya kelompok tiang terhadap kedalaman kondisi tanah normal (a) beban layan (b) beban ekstrim

Dari **Tabel 6** dapat diketahui pada kondisi tanah *negative skin friction* nilai perbandingan rasio kapasitas dengan gaya akibat beban memiliki nilai lebih dari 1 atau nilai gaya akibat beban masih lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas maka kelompok tiang dengan 16 tiang aman digunakan untuk kondisi tanah *negative skin friction*.

Tabel 6. Perbandingan Kapasitas Tiang terhadap Gaya Aktual Kondisi Negative Skin Friction Menggunakan 16 Tiang

| LAYAN | AKSIAL | | LATERAL | | MOMEN | | DEFLEKSI | |
|------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------|
| | Kapasitas Aksial [kN] | Gaya Aksial [kN] | Kapasitas Lateral [kN] | Gaya Lateral [kN] | Kapasitas Momen [kNm] | Momen [kNm] | Batas Defleksi [mm] | Defleksi [mm] |
| Layan Full | 1.835,28 | 1.089,7 | 261,156 | 41,667 | 969,834 | 98,682 | 10 | 2,865 |
| Layan Mid | | 757,43 | | 38,046 | | 87,596 | | 2,549 |
| Layan Neg | | 1.073,5 | | 42,666 | | 98,658 | | 2,864 |
| Layan Side | | 1.630,4 | | 39,814 | | 92,776 | | 2,684 |
| Extreme Y | 2.867,63 | 1.888,1 | 382,871 | 173,88 | 1.524,04 | 407,88 | 17,5 | 11,712 |
| Extreme X | | 1.573,6 | | 166,82 | | | | 618,88 |

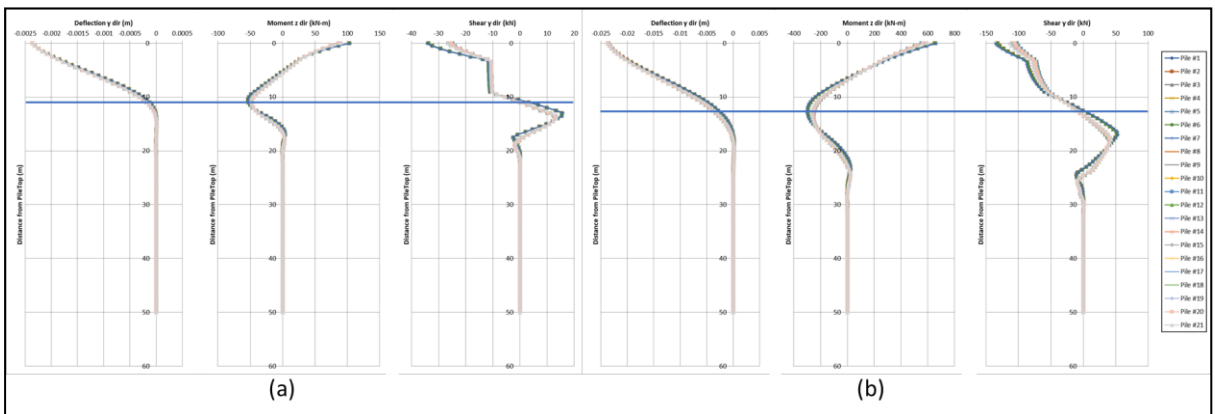


Gambar 9. Grafik gaya kelompok tiang terhadap kedalaman kondisi tanah *negative skin friction* (a) beban layan (b) beban ekstrim

Dari **Tabel 7** dapat diketahui pada kondisi tanah likuefaksi nilai perbandingan rasio kapasitas dengan gaya akibat beban memiliki nilai lebih dari 1 atau nilai gaya akibat beban masih lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas maka kelompok tiang dengan 21 tiang aman digunakan untuk kondisi tanah likuefaksi.

Tabel 7. Perbandingan Kapasitas Tiang terhadap Gaya Aktual Kondisi Likuefaksi Menggunakan 21 Tiang

| LAYAN | AKSIAL | | LATERAL | | Kapasitas Momen [kNm] | Momen [kNm] | DEFLEKSI | |
|------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------|
| | Kapasitas Aksial [kN] | Gaya Aksial [kN] | Kapasitas Lateral [kN] | Gaya Lateral [kN] | | | Batas Defleksi [mm] | Defleksi [mm] |
| Layan Full | 2.425,08 | 1.031 | 737,739 | 34,135 | 379,723 | 104,02 | 10 | 2,367 |
| Layan Mid | | 779,6 | | 30,539 | | 88,132 | | 1,939 |
| Layan Neg | | 1.020,6 | | 34,114 | | 103,68 | | 2,373 |
| Layan Side | 37,19 | 1.4410,1 | 146,458 | 31,079 | 840,243 | 91,865 | 25 | 2,214 |
| Extreme Y | | 1.685,3 | | 136,21 | | 669,5 | | 23,7 |
| Extreme X | | 1.448,8 | | 134,001 | | 706,15 | | 20,67 |



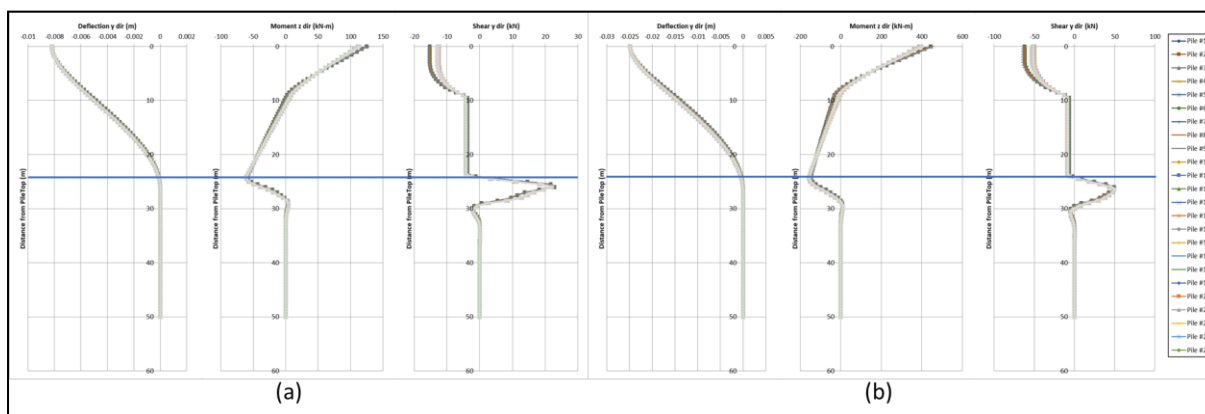
Gambar 10. Grafik gaya kelompok tiang terhadap kedalaman kondisi tanah likuefaksi (a) beban layan (b) beban ekstrim

Dari **Tabel 8** dapat diketahui pada kondisi tanah *negative skin friction* dengan likuefaksi nilai perbandingan rasio kapasitas dengan gaya akibat beban memiliki nilai lebih dari 1 atau nilai gaya akibat beban masih lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas maka kelompok tiang dengan 12 tiang aman digunakan untuk kondisi tanah *negative skin friction* dengan likuefaksi.

Gaya akibat beban yang bekerja pada kelompok tiang masih lebih kecil dibandingkan kapasitas tiang yang menandakan kelompok tiang aman digunakan atau mampu menahan beban yang terjadi pada jembatan baik untuk kondisi beban layan maupun beban gempa.

Tabel 8. Perbandingan Kapasitas Tiang terhadap Gaya Aktual Kondisi *Negative Skin Friction* dengan Likuefaksi Menggunakan 45 tiang

| LAYAN | AKSIAL | | LATERAL | | MOMEN | | DEFLEKSI | |
|------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------|
| | Kapasitas Aksial [kN] | Gaya Aksial [kN] | Kapasitas Lateral [kN] | Gaya Lateral [kN] | Kapasitas Momen [kNm] | Momen [kNm] | Batas Defleksi [mm] | Defleksi [mm] |
| Layan Full | | 922,42 | | 15,389 | | 125,71 | | 8,21 |
| Layan Mid | 1835,28 | 805,95 | 737,739 | 13,682 | 379,723 | 112,72 | 10 | 7,453 |
| Layan Neg | | 917,19 | | 15,378 | | 125,59 | | 8,206 |
| Layan Side | | 1115,9 | | 14,343 | | 118,3 | | 7,7885 |
| Extreme Y | 2867,63 | 1176,6 | 146,458 | 64,07 | 840,253 | 455,78 | 25 | 24,805 |
| Extreme X | | 1111,2 | | 61,469 | | 450,99 | | 23,848 |



Gambar 11. Grafik gaya kelompok tiang terhadap kedalaman kondisi tanah *negative skin friction* dengan likuefaksi (a) beban layan (b) beban ekstrim

5. KESIMPULAN

Kondisi *negative skin friction* memengaruhi kapasitas aksial tiang tunggal dikarenakan kehilangan daya dukung selimut dari permukaan hingga kedalaman 26 m sehingga memiliki nilai kapasitas lebih kecil dibandingkan kondisi normal. Lapisan tanah likuefaksi berpengaruh secara signifikan, karena dengan adanya likuefaksi kapasitas lateral dan kapasitas momen jauh lebih kecil dibandingkan dengan kondisi normal. *Negative skin friction* dan lapisan tanah likuefaksi memiliki pengaruh terhadap jumlah tiang karena pada kondisi *negative skin friction* dan lapisan likuefaksi jika menggunakan jumlah tiang yang sama dengan kondisi normal, kelompok tiang memiliki nilai gaya yang bekerja melebihi kapasitas maka dari itu jumlah tiang pada setiap variasi kondisi tanah berbeda. Pengaruh likuefaksi lebih besar dibandingkan dengan pengaruh negative skin friction, namun apabila kedua variasi tersebut dikombinasikan akan memiliki pengaruh yang sangat signifikan karena memiliki jumlah tiang yang jauh lebih banyak. Dengan adanya kondisi variasi *negative skin friction* dan lapisan tanah likuefaksi juga memengaruhi kedalaman titik jepit dimana dengan adanya pengaruh kedua faktor tersebut titik jepit berada lebih dalam dibandingkan kondisi normal.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Bowles, J. (1982). *Analisis dan Desain Pondasi Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Das, B. (2011). *Principle of Foundation Engineering 7th Edition*. Massachusetts: Cengage Learning Stamford.
- [3] Das, B. (2017). *Shallow Foundation Bearing Capacity dan Settlement 3rd Edition*. Massachusetts: Cengage Learning Stamford.
- [4] Gumilang, M. M. (2016). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dengan Memperhitungkan Pengaruh Likuifaksi pada Proyek Pembangunan Hotel di Lombok. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), D253-D2585.
- [5] Hetenyi, M. (1946). *Beam in elastic foundation*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- [6] Idriss, I. &. (2010). *SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures*. California: University of California.
- [7] Isenhower, W. W. (2019). *Technical manual for Lpile 2019 A Program for the Analysis of Deep Foundation Under Lateral Loading*. Texas: Ensoft inc.
- [8] Rahardjo, P. (2017). *Manual Pondasi Tiang Edisi 5*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- [9] Reesem L.C., W. S. (2019). *Technical manual for Group 2019 A Program for the Analysis of A Group Piles Subjected to Vertical and Lateral Loading*. Texas: Ensoft inc.
- [10] Tomlinson, M. (1963). *Foundation Design and Construction*. Canada: The Cop Clark Publishing Company.
- [11] Wang, S. A. (2019). *Technical manual for Apile 2019 A Program for Study of Driven Piles Under Axial Loads*. Texas: Ensoct inc.
- [12] Wardani, M. S. (2023). Analisa Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan terhadap Variasi Bentuk Penampang Fondasi Tiang Pancang. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 6(2), 206-216.
- [13] Widjaja, B. L. (2006). Negative Skin Friction Tiang Pancang pada Tanah Lembung Studi Kasus Pabrik Tekstil, Bale Endah. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 46-59.