

MEKANISME KERUNTUHAN FONDASI TIANG HELICAL TUNGGAL PADA TANAH GAMBUT SECARA NUMERIK MENGGUNAKAN MODEL *SOFT SOIL CREEP*

Fadel Muhammad¹⁾, Syawal Satibi²⁾, Ferry Fatnanta²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Universitas Riau, Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Subrantas Km 12,5
Simpang Baru, Pekanbaru, Indonesia 28293

Email : fadel.muhammad6191@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Peat is spread widely in Sumatera Island, especially in Riau Province, Indonesia. Peat is included as problematic soil because it has low bearing capacity. The use of helical pile foundation on peat is one of the innovations to increase the peat's bearing capacity. In this research, numerical modelling of single helical pile foundation load test on peat were carried out, based on the full-scale test conducted by Suratman (2019). The modelling were done by using PLAXIS 2D 2016 program with Axisymetry model type, with the Soft Soil Creep (SSC) soil model. This modelling aimed to know the failure mechanism of model. The parameters used in the modelling were obtained from laboratory test data and field tests and also from trial and error method. The failure mechanism that occurs on the Soft Soil Creep (SSC) model is more likely to be a cylindrical shear failure.

Keywords : Peat, Helical Pile, PLAXIS 2D, Failure Mechanism.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi di Indonesia hingga saat ini masih terus berlanjut dan berkembang. Pembangunan konstruksi ini terus berkembang ke daerah-daerah pelosok yang ada di Indonesia sehingga dalam pelaksanaannya juga melibatkan berbagai jenis tanah, salah satunya tanah gambut. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2018), Indonesia per tahun 2018 memiliki ekosistem gambut seluas 24 juta hektar, dengan sebaran di Pulau Sumatera seluas 9,16 juta hektar, di Pulau Kalimantan seluas 8,40 juta hektar, di Pulau Papua seluas 6,50 juta hektar dan sekitar 60 ribu hektar di Pulau Sulawesi.

Tanah gambut adalah tanah organik yang terbentuk dari fragmen-fragmen dari tumbuhan yang telah membusuk yang sudah menjadi fosil. Pembentukan tanah gambut memerlukan waktu ribuan tahun melalui proses yang sangat beragam antara satu tempat dengan tempat lainnya (Muslihat, 2003). Menurut Huat *et al.* (2014) tanah

gambut memiliki sifat yang rapuh dan sangat mudah termampatkan sehingga tanah gambut pada banyak proyek konstruksi tidak dapat memberikan daya dukung yang cukup untuk mendukung beban konstruksi di atasnya. Kecilnya daya dukung tanah gambut dalam mendukung beban konstruksi di atasnya menjadi daya tarik bagi para peneliti untuk mengetahui solusi yang *cost-effective* untuk membangun konstruksi di atas tanah gambut.

Beberapa metode konvensional dalam meningkatkan daya dukung tanah gambut telah dilakukan, diantaranya mulai dari mengganti tanah gambut dengan material tanah yang memiliki daya dukung yang lebih besar. Pada beberapa tempat juga menggunakan fondasi tiang pada tanah gambut hingga kedalaman dimana daya dukung telah terpenuhi. Pada metode lainnya menggunakan fondasi tiang helical yang memiliki berat lebih ringan dari fondasi tiang dan daya dukung ujung (*end bearing*) yang lebih besar dari fondasi tiang karena memiliki luasan ujung yang lebih besar pada dimensi

tiang yang sama.

Fondasi tiang helical adalah fondasi tiang dengan sisi luar tiang diberi pelat yang melingkari tiang atau yang biasa dikatakan sebagai pelat helical. Fondasi tiang helical selain diameter tiang dalam pemakaiannya juga dapat divariasikan jumlah pelat helical, jarak antar pelat helical dan diameter pelat helical. Fondasi tiang helical dalam menerima beban dari atas lalu diteruskan ke tanah secara umum terbagi menjadi 2 metode, yaitu dengan metode kapasitas dukung individual (*individual bearing*) dan metode silinder geser (*cylindrical shear*). Metode kapasitas dukung individual adalah suatu metode yang mengasumsikan bahwa beban yang diterima dari atas lalu diteruskan atau didistribusikan pada setiap pelat helical. Sehingga kapasitas dukung dari fondasi tiang helical dinamakan kapasitas dukung individual. Metode kapasitas dukung silinder geser adalah suatu metode dengan anggapan bahwa pelat helical yang ada saling terhubung pada ujung pelat, sehingga membentuk silinder terpancung atau tabung sesuai ukuran pelat helical. Beban yang diterima dari atas lalu didistribusikan pada sisi luar silinder atau tabung yang bergesekan dengan tanah (Perko & Wiley, 2009)

Suratman (2019) telah melakukan penelitian uji beban fondasi tiang helical skala penuh pada tanah gambut. Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah tiang, mulai dari tiang helical tunggal, 3 tiang, 4 tiang, 5 tiang dan 6 tiang. Setiap tiang helical memiliki 3 buah pelat helical dengan jarak antar pelat 30 cm. Diameter pelat helical dari atas 35 cm (L), 25 cm (M) dan 15 cm (S), sehingga dapat disingkat menjadi tiang helical LMS. Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Suratman (2019) didapatkan metode kapasitas dukung atau mekanisme keruntuhan fondasi helical pada tanah gambut ialah metode kapasitas dukung individual.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suratman (2019), peneliti melakukan penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme keruntuhan fondasi tiang helical pada tanah gambut dengan tinjauan tiang helical tunggal secara numerik.

Penelitian ini melalui pemodelan fondasi tiang helical tunggal dengan menggunakan aplikasi PLAXIS 2D 2016.

Parameter-parameter yang digunakan pada pemodelan ini didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Suratman (2019). Parameter-parameter yang diperlukan dalam pemodelan tetapi tidak didapatkan dari penelitian Suratman (2019) akan dilakukan melalui *trial and error* berdasarkan rentang nilai yang sesuai dengan jenis tanah gambut yang didapatkan Suratman (2019).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Gambut

Tanah gambut di dalam ASTM D 4427-92 adalah material dengan kadar organik yang tinggi berasal dari tanaman yang terjadi secara alami. Craig (1992) dalam Huat *et al.* (2014) mengatakan tanah gambut umumnya memiliki warna cokelat tua atau hitam dan memiliki bau yang khas. Menurut Bowles (1997) tanah gambut secara visual dikenal sebagai massa berserat mengandung kayu, biasanya berwarna gelap dan berbau tumbuhan membusuk. Dalam laporan Huang *et al.* (2009) dikatakan bahan organik pada tanah memegang peranan yang penting dalam praktek di lapangan. Kehadiran bahan organik pada tanah berhubungan dengan nilai berat jenis tanah yang rendah, kompresibilitas tanah yang tinggi, koefisien rangkakan (*creep*) tanah yang besar dan nilai kekuatan tanah yang tidak memadai. Sifat-sifat ini adalah alasan mengapa tanah dengan bahan organik yang tinggi dianggap sebagai 'tanah bermasalah' oleh para perancang fondasi.

Pada penelitian Suratman (2019) tanah gambut yang digunakan adalah jenis *hemie medium ash* (tanah gambut dengan kadar serat dan kadar abu sedang).

Fondasi Tiang Helical

Fondasi tiang helical adalah fondasi tiang yang terbuat dari baja fabrikasi yang terdiri dari satu atau lebih pelat helical yang diinstalasi dengan cara memutar fondasi tersebut ke dalam tanah (Willis, 2009). Jumlah pelat helical, jarak antar pelat helical dan diameter pelat helical yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan yang

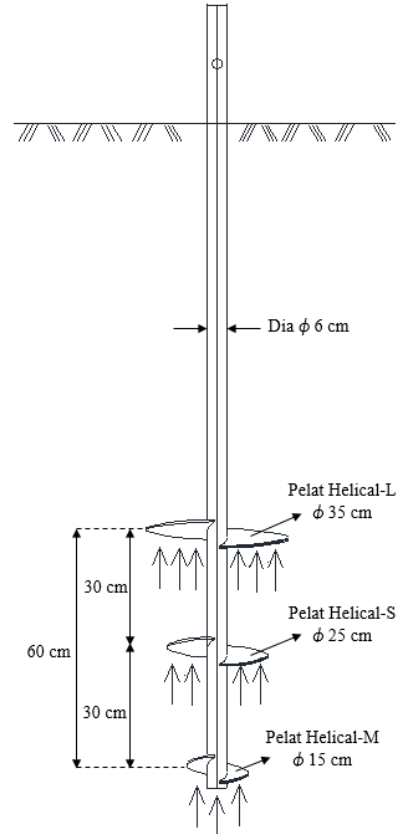
diperlukan.

Pada awal ditemukannya pemasangan fondasi tiang helical masih dilakukan secara manual, namun seiring dengan perkembangannya untuk percepatan pemasangan digunakan mesin hidrolis. Keuntungan lain dari fondasi tiang helical ini adalah tidak adanya efek yang mengganggu bangunan sekitar maupun lingkungan sekitar seperti getaran, kebisingan, dan limbah lumpur seperti pemasangan jenis fondasi pile lainnya. Perhitungan nilai daya dukung fondasi tiang helical juga dapat dilakukan dengan mengkonversikan torsi yang diperoleh pada saat pemasangan. Fondasi tiang helical bisa digunakan untuk menahan gaya tekan dan tarik.

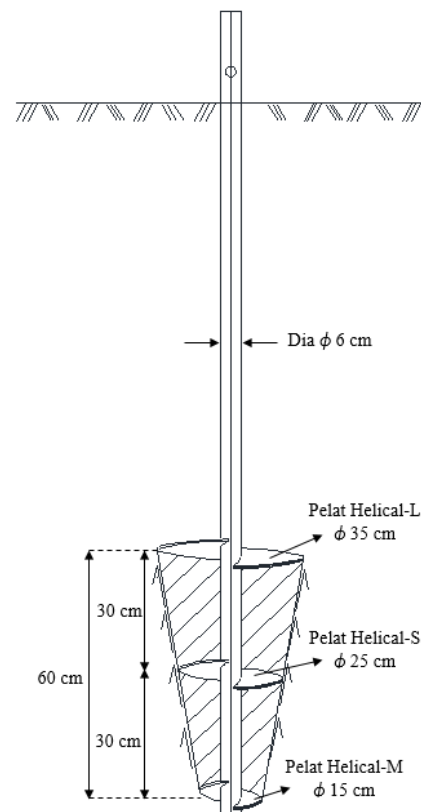
Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Helical

Perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang helical umumnya dapat dilakukan dengan dua metode diantaranya Metode Kapasitas Dukung Individual (*individual bearing*) dan Geser Silinder (*cylindrical shear*).

- a. Metode Kapasitas Dukung Individual (*individual bearing*) mengasumsikan bahwa, kapasitas dukung fondasi tiang helical bersumber dari jumlah kapasitas dukung tanah di bawah masing-masing pelat helical yang terdistribusi secara seragam ditambah dengan faktor adhesi (*friction*) antara kulit fondasi tiang helical dengan tanah. Distribusi kapasitas dukung tanah pada bagian bawah pelat helical dapat dilihat pada Gambar 1.
- b. Metode Silinder Geser (*cylindrical shear*) mengasumsikan seluruh volume tanah diantara pelat helical termobilisasi menjadi satu kesatuan yang berbentuk silinder terpancung. Sehingga kapasitas dukung metode silinder geser merupakan total gesekan tanah pada selimut kerucut. Distribusi gesekan yang terjadi pada metode silinder geser dapat dilihat pada Gambar 2. Menurut Mooney *et al.* (1985) dalam Perko (2009), metode ini cocok digunakan untuk memprediksi kapasitas kapasitas dukung aksial fondasi tiang helical.



Gambar 1. Mekanisme Kapasitas Dukung Individual

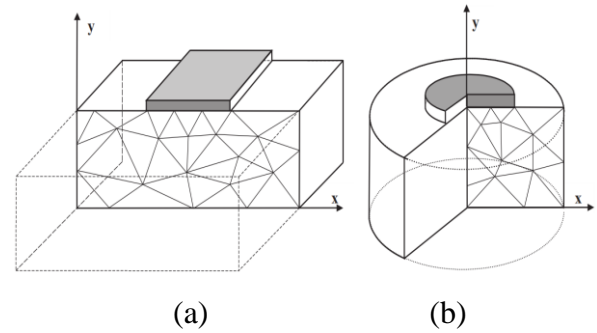


Gambar 2. Mekanisme Silinder Geser

PLAXIS 2D 2016

Permasalahan-permasalahan dalam bidang geoteknik yang kompleks sudah tidak dapat lagi diselesaikan dengan cara pendekatan eksak atau pendekatan empirikal berdasarkan pengujian lapangan maupun laboratorium. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan pendekatan secara numerik, diantaranya *finite element*, *finite difference*, *discrete element* dan *boundary element*. Pada saat sekarang ini, pendekatan penyelesaian permasalahan geoteknik yang paling populer ialah penyelesaian secara numerik berdasarkan *finite element*, salah satu *software* dari pendekatan ini ialah PLAXIS. Penggunaan PLAXIS umumnya digunakan pada 2D (2 dimensi) atau 3D (3 dimensi). PLAXIS 2D adalah sebuah program perangkat lunak berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi, stabilitas dan analisis aliran air dalam tanah untuk berbagai jenis penerapan pada bidang geoteknik. Pengembangan PLAXIS dimulai pada akhir tahun 1980-an di *Delft University of Technology* di Belanda. Pada tahun 1990-an PLAXIS dikembangkan lebih lanjut dan pada tahun 1998 PLAXIS 2D pertama dirilis pada *operating system* Windows untuk tujuan komersial. Pengembangan PLAXIS terus berlanjut hingga saat ini (Brinkgreve *et al.*, 2016).

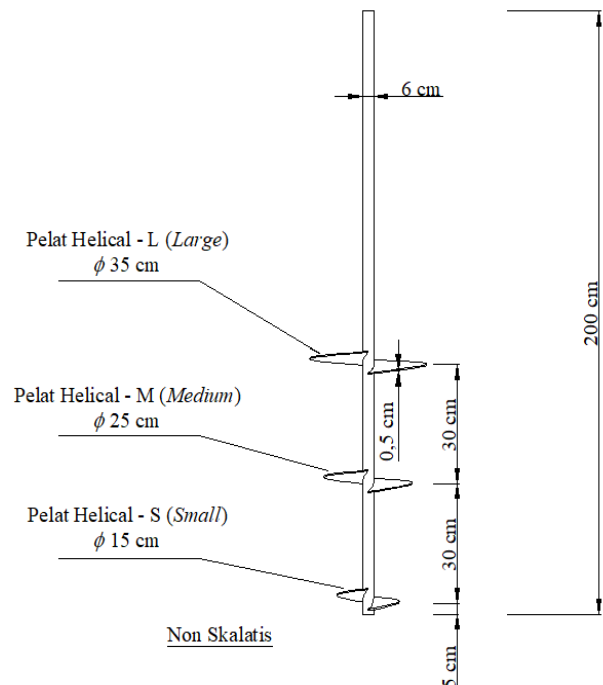
PLAXIS 2D umumnya memodelkan struktur geoteknik menggunakan 2 tipe model geometri, yaitu *Plane Strain* dan *Axisymmetry*. Penggunaan keduanya dibedakan berdasarkan hasil dari jenis pemodelan yang akan dimodelkan nantinya. Tipe model *Plane Strain* biasa digunakan pada penampang melintang yang cukup seragam, tegangan dan pembebanan yang terjadi tegak lurus terhadap penampang. Sedangkan tipe model *Axisymmetry* biasanya digunakan untuk penampang radial (melingkar) yang cukup seragam, kondisi tegangan pembebanan tersebar rata mengelilingi sumbu aksial. Ilustrasi model geometri *Plane Strain* dan *Axisymmetry* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) *Plane Strain* (b) *Axisymmetry*

Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Suratman (2019), yaitu uji beban fondasi tiang helical skala penuh pada tanah gambut. Pada penelitian tersebut telah dilakukan uji beban fondasi tiang helical pada tanah gambut dengan jumlah tiang 1, 3, 4, 5 dan 6 tiang. Tiang helical yang digunakan ialah tiang helical dengan 3 buah pelat helical serta jarak antar pelat helical 30 cm. Pelat helical dari atas berdiameter 35 cm (*large, L*), 25 cm (*medium, M*) dan 15 cm (*small, S*), sebagaimana tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Tiang Helical Tipe LMS-30

Pada penelitian Suratman (2019) dilakukan serangkaian pengujian laboratorium maupun lapangan pada tanah

gambut yang akan dipasang fondasi helical. Hasil pengujian mendapatkan tanah gambut dengan jenis *hemic medium ash* (tanah gambut dengan kadar serat dan kadar abu sedang).

Parameter yang digunakan dalam pemodelan didapatkan dari pengujian laboratorium maupun lapangan yang telah dilakukan oleh Suratman (2019). Pada beberapa parameter yang diperlukan dan tidak didapatkan dari penelitian Suratman (2019) langsung ditetapkan berdasarkan rentang nilai dari jenis tanah gambut yang didapat. Serta pada beberapa parameter yang lainnya yang tidak diketahui, dilakukan *trial and error* sesuai dengan rentang nilai tanah gambut yang didapatkan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pemodelan Fondasi Tiang Helical Tunggal

Pemodelan fondasi tiang helical tunggal dilakukan menggunakan perangkat lunak *finite element*, yaitu PLAXIS 2D 2016. Pemodelan menggunakan model geometri *axisymetry*, yang berarti hanya memodelkan separuh tiang helical dari atas hingga bawah tiang helical. Model material *Soft Soil Creep* (SSC) digunakan untuk memodelkan tanah gambut.

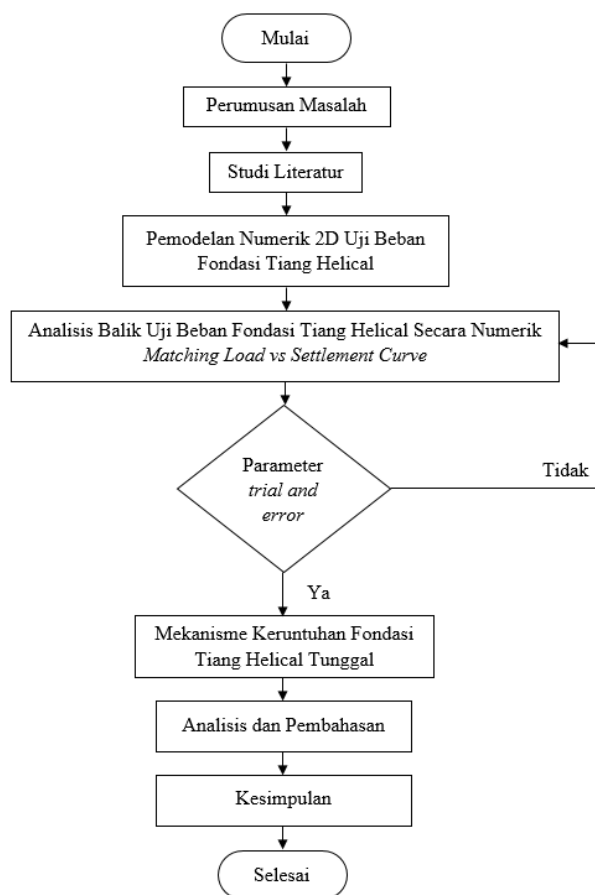
Tiang helical dimodelkan dengan ukuran yang sama sesuai dengan kondisi di lapangan. Berat volume tiang helical disesuaikan dengan berat volume tiang helical di lapangan, karena ada perubahan bentuk penampang, di lapangan dengan bentuk berongga (*hollow*) dan dimodelkan menjadi padat (*solid*).

Uji beban pada model fondasi tiang helical tunggal diberikan untuk mengetahui kapasitas dukung fondasi tiang helical tunggal. Uji beban yang diberikan pada model tiang helical dilakukan dengan mengunci penurunan yang terjadi pada tiang helical sesuai dengan yang terjadi di lapangan, yaitu sebesar 5,0 cm.

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5. Ukuran tiang helical dimodelkan sesuai dengan ukuran sebenarnya di lapangan, tetapi hanya separuh tiang saja

yang dimodelkan, karena menggunakan model geometri *axisymetry*. Analisis balik dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan dalam pemodelan tetapi tidak didapatkan dari penelitian Suratman (2019), dengan cara *trial and error*. Setelah parameter yang paling sesuai didapatkan, hasil dari pemodelan fondasi tiang helical tunggal dilakukan analisis terhadap mekanisme keruntuhan yang terjadi.



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Yang Didapatkan

Parameter yang digunakan dalam pemodelan fondasi tiang helical tunggal dengan model material *soft soil creep* (SSC) sebagaimana pada Tabel 1.

Parameter-parameter ini didapatkan dari pengujian laboratorium dan lapangan yang telah dilakukan Suratman (2019), penetapan langsung berdasarkan rentang nilai tanah gambut yang didapat serta didapatkan dari *trial and error* yang dilakukan.

Tabel 1. Parameter Yang Digunakan Dalam Pemodelan

Parameter	Satuan	Nilai
γ_{sat}	[kN/m ³]	10,75
γ_{unsat}	[kN/m ³]	10,75
e_{int}	[-]	16,86
C_c	[-]	7,5
C_s	[-]	0,75
C_a	[-]	0,375
c'	[kN/m ²]	3
ϕ'	[°]	44
ψ	[°]	0
v'_{ur}	[-]	0,3
$R_{inter Atas}$	[-]	0,75
$R_{inter Bawah}$	[-]	0,9
Tipe Drainase	[-]	Undrained A

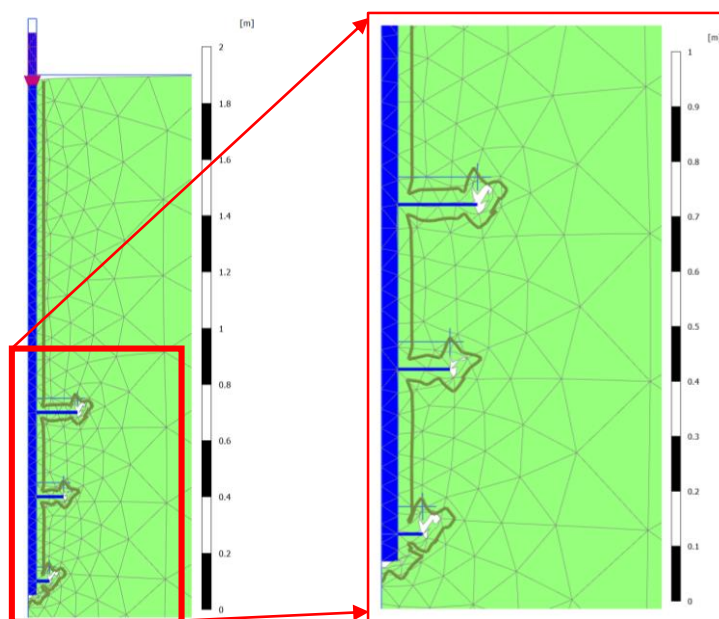
Hasil uji beban fondasi tiang helical tunggal dengan model material SSC (*Soft Soil Creep*) dapat dilihat pada Gambar 6. hingga Gambar 8. Berdasarkan Gambar 7. hingga Gambar 8. terlihat bahwa mekanisme keruntuhan yang terjadi pada model SSC secara umum ialah lebih cenderung kepada mekanisme keruntuhan silinder geser (*cylindrical shear*). Kecenderungan mekanisme keruntuhan

silinder geser yang didapatkan, dilihat dengan lebih condong dari tinjauan *mobilized shear strength*, karena pada tinjauan ini mobilisasi kuat geser yang terjadi dapat dilihat. Tinjauan yang dilihat pada *mobilized shear strength* ialah kesamaan warna kontur tegangan dari ujung-ujung pelat helical, yang jika ditarik garis lurus akan menjadi kerucut terpancung dalam 3 (tiga) dimensi.

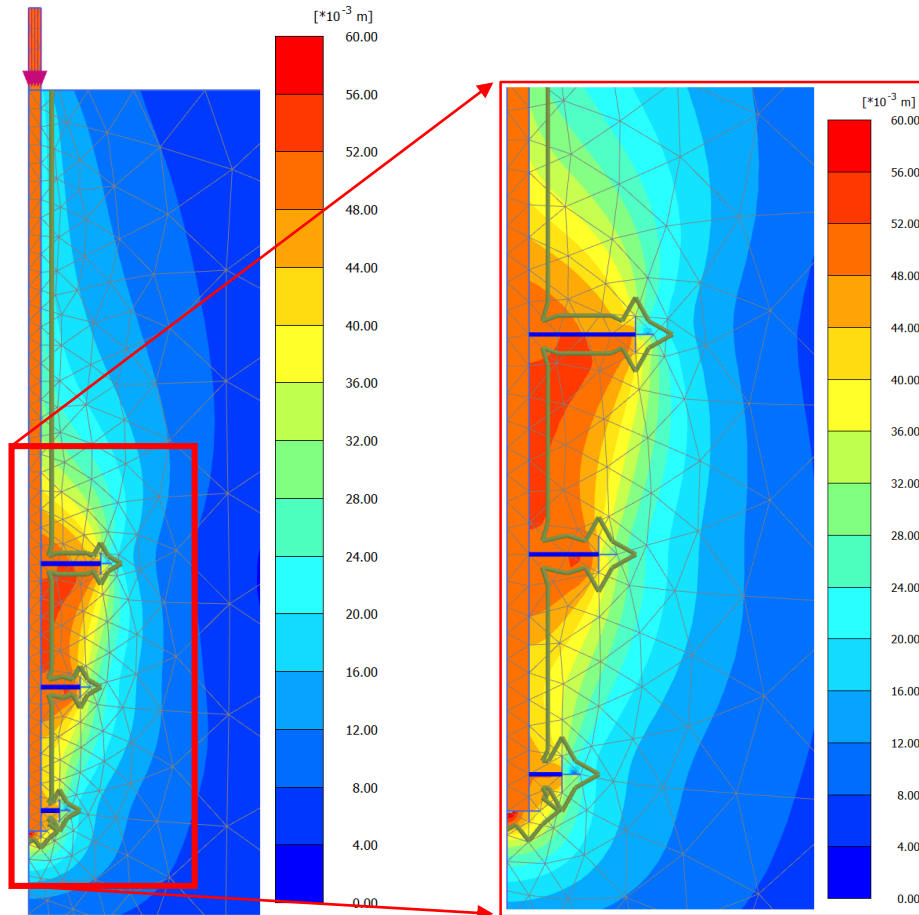
Tinjauan *Mobilized shear strength* sebagaimana Gambar 8. pada pelat helical paling bawah (pelat helical S), terlihat cukup berbeda, dengan pelat helical M dan pelat helical L. Mekanisme keruntuhan pelat S cenderung kepada keruntuhan *individual bearing*, hal ini dapat disebabkan karena diameter pelat helical S yang terlalu pendek jika dibandingkan dengan jarak antar pelat helical.

Tinjauan *deformed mesh* dari model fondasi tiang helical tunggal pada Gambar 6. memperlihatkan jaring elemen (*mesh*) yang ada dengan ketergangguan akibat beban yang diberikan. Jaring elemen (*mesh*) yang bagus ditunjukkan dengan berbentuk segitiga sama sisi.

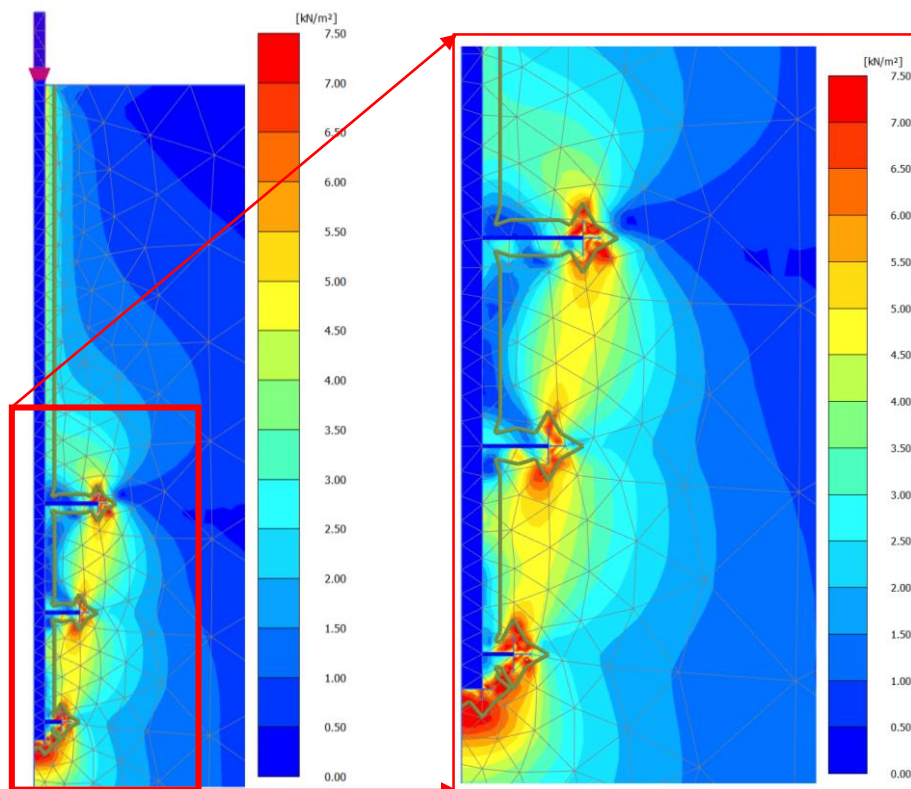
Total displacement yang terjadi seperti pada Gambar 7. memperlihatkan besar penurunan yang terjadi serta posisi yang mengalami penurunan paling besar.



Gambar 6. *Deformed Mesh Model SSC*



Gambar 7. Total Displacement Model SSC



Gambar 8. Mobilized Shear Strength Model SSC

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada sub bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Mekanisme keruntuhan yang didapatkan dari model *Soft Soil Creep*, yaitu lebih cenderung kepada mekanisme keruntuhan silinder geser (*cylindrical shear*).
2. Pada pelat paling bawah (pelat S) lebih condong kepada mekanisme keruntuhan kapasitas dukung individual (*individual bearing*).
3. Mekanisme keruntuhan yang terjadi pada fondasi tiang helical lebih dipengaruhi oleh jarak antar pelat dan diameter pelat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan atas dukungan sarana maupun prasarana yang diberikan oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Universitas Riau, PLP, Asisten Laboratorium di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2007). *ASTM D 4427-92* (Vol. 92, Issue Reapproved, pp. 1–44).
- Bowles, J. (1997). *Analisis dan Desain Pondasi*.
- Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. M. (2016). PLAXIS 2D Reference Manual 2016. *Plaxis 2016*, 454.
- Huang, P.-T., Patel, M., Santagata, M. C., & Bobet, A. (2009). *Final Report Classification of Organic Soils*.
- Huat, B. B. K., Prasad, A., Asadi, A., & Kazemian, S. (2014). Geotechnics of organic soils and peat. In *Geotechnics of Organic Soils and Peat*. <https://doi.org/10.1201/b15627>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, K. (2018). *Temuan dan Analisis Implementasi Restorasi 2018*.
- Knappett, J. A., & Craig, R. F. (2012). *Craig 's Soil Mechanics*.
- Muslihat, L. (2003). Teknik Pengukuran Bobot Isi Tanah Gambut Di Lapangan

dan di Laboratorium. *Buletin Teknik Pertanian*, 8(98), 69–71.

Perko, H. A. (2009). Bearing Capacity Solutions.pdf. In *Helical piles* (pp. 103–149).

Perko, H. A., & Wiley, J. (2009). *Helical Piles*. In *Helical Piles*.

Suratman. (2019). *Prakiraan Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang (Helical Pile) Tanah Gambut Berdasarkan Data CPT (Cone Penetration Test)*.

Willis, D. (2009). *How to Design Helical Piles per the 2009 International Building Code* (pp. 1–11).