

Analisa Kapasitas Dukung Pondasi Tusuk Sate Sebagai Inovasi Jenis Pondasi Dangkal Pada Area Pesisir Teluk Balikpapan Menggunakan Analisa Numerik Undrained B

Sulardi¹, Tatag Yufitra Rus^{2*}

¹Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan

²Politeknik Negeri Balikpapan

Email korespondensi: tatag.yufitra@poltekba.ac.id

ABSTRAK

Studi ini menggunakan metode analisis terhadap kemampuan daya dukung pondasi tusuk sate yang ditinjau dari nilai penurunan terhadap variasi beban terpusat hingga mencapai beban maksimum yang diperoleh pada pondasi melalui pemodelan struktur pondasi dengan Plaxis 2D yang ditinjau pada tanah lempung di sekitar Teluk Balikpapan. Didapatkan jenis pondasi dangkal dengan pondasi tusuk sate ditinjau pada tanah lempung di sekitar Teluk Balikpapan membuktikan kemampuan pondasi tusuk sate dan cerucuk ulin dalam kapasitas dukung dapat menopang beban terpusat hingga di fase kritis pada beban 22,3 Ton dengan besaran penurunan sebesar 42 mm, nilai tersebut tidak lebih besar dari 65 mm yaitu batas toleransi penurunan maksimum pondasi dangkal pada tanah lempung.

Kata kunci: teluk Balikpapan, pondasi tusuk sate, kapasitas dukung, Plaxis 2D

ABSTRACT

This study uses the analytical method of the bearing capacity of the skewer foundation in terms of the settlement value of the concentrated load variation until it reaches the maximum load obtained on the foundation through the modeling of the foundation structure with Plaxis 2D which is tested on clay soils around Balikpapan Coastal Area. It was found that the type of shallow foundation with a skewer foundation was reviewed on clay soil around Balikpapan coastal area proving the ability of the skewer and cerucuk ulin foundation in carrying capacity to support a concentrated load up to the critical phase at a load of 22.3 Tons with a decrease of 42 mm, this value not greater than 65 mm, which is the maximum tolerance limit for shallow foundation settlement on clay soils.

Keywords: Balikpapan coasta area, skewer foundation, bearing capacity, Plaxis 2D

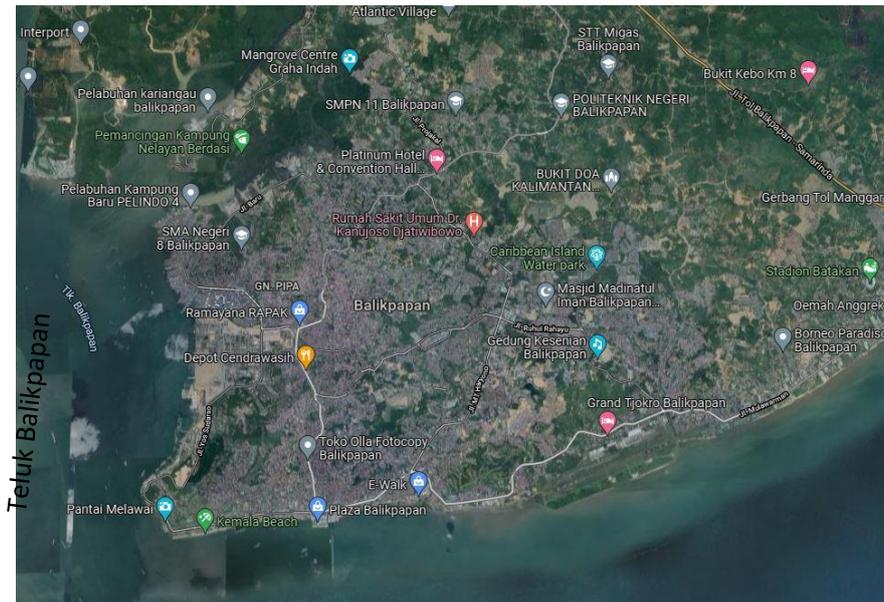
PENDAHULUAN

Pondasi merupakan struktur bawah bangunan yang digunakan untuk menopang beban bangunan terhadap tanah. Perencanaan pondasi selalu berkembang baik dalam segi desain maupun analisa metode perhitungan. Perencanaan pondasi yang baik akan menghasilkan tingkat keamanan terutama pada nilai daya dukung pondasi terhadap tanah yang lunak seperti di area pesisir pantai Kota Balikpapan.

Berdasarkan hasil pengamatan tanah diketahui bahwa tekstur tanah di kawasan pesisir pantai Kota Balikpapan adalah jenis tanah sangat lunak dan tanah lunak. Untuk itulah maka penelitian ini penting dilakukan sebagai salah satu bagian dari upaya membuat inovasi sistem pengaman dan keselamatan bangunan yang terletak di pesisir pantai. Desain bangunan pelindung pantai yang dianggap cocok dan sesuai digunakan adalah yang dapat mengakomodir terjadi penurunan, aman terhadap guling dan aman terhadap kemungkinan terjadinya geseran terutama pada kondasi pasang dan surut pantai, seperti bangunan pelindung pantai dengan pondasi tusuk sate.

Pondasi tusuk sate adalah inovasi dari jenis pondasi dangkal yang berbentuk seperti pondasi stepped reinforced concrete, hanya saja yang membedakan adalah pada lapisan pelat beton, bagian tengahnya diberi lubang dan disusun sedemikian rupa pada sebuah cerucuk tiang sehingga bentuk satu kesatuan pondasi dangkal dengan perkuatan tiang. Tiang cerucuk dengan kedalaman tertentu dan diberi pengaku (sloof) dan pelat beton bentuk dan ukuran tertentu akan bekerja sama mereduksi beban bangunan di atasnya sehingga tegangan yang diteruskan ketanah dasar akan relatif kecil dan aman. Disebut pondasi tusuk sate karena bentuk dari kombinasi antara cerucuk ulin dan susunan lapisan pelat beton yang berbentuk segitiga seperti menyerupai tusuk sate.

Studi ini menggunakan metode analisis terhadap kemampuan daya dukung pondasi tusuk sate yang ditinjau dari nilai penurunan terhadap variasi beban terpusat hingga mencapai beban maksimum yang diperoleh pada pondasi melalui pemodelan struktur pondasi dengan Plaxis 2D yang ditinjau pada tanah lempung di sekitar Teluk Balikpapan. Penelusuran terhadap beberapa topik hasil penelitian sebelumnya dengan judul yang sama atau dengan judul yang sejenis menunjukkan, tidak ada satupun laporan hasil publikasi penelitian atau publikasi artikel judul yang sama dengan penelitian yang peneliti lakukan. Oleh karena itu peneliti berasumsi bahwa topik penelitian ini adalah topik penelitian original dan tidak duplikasi dengan judul penelitian sebelumnya.

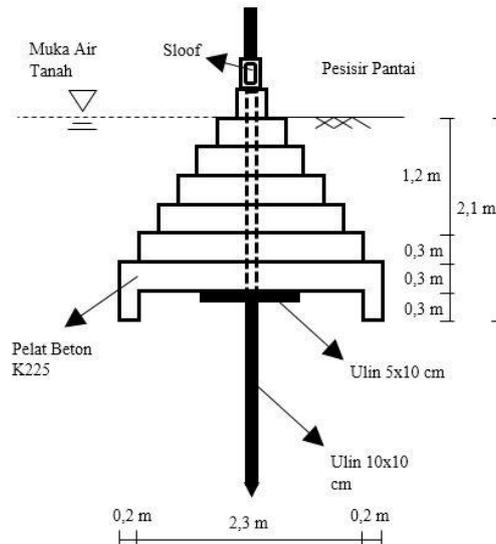


Gambar 1. Areal Sekitar Teluk Balikpapan yang Dipadati oleh Permukiman

METODE PENELITIAN

Desain Konstruksi

Pondasi tusuk sate yang dianalisa kegunaannya pada lokasi area disekitar teluk Balikpapan melalui analisa numerik. Gambar 2 merupakan desain pondasi tusuk sate. Pondasi Tusuk Sate didesain dengan 7 tingkatan pelat beton dengan pelat beton yang berada paling bawah didesain menggunakan kaki dan bantalan ulin yang dipasak, yang berguna sebagai pengaku pondasi dan memberikan tambahan kekuatan pada daya dukung tanah terhadap pondasi. Pondasi tersebut diberi lubang ditengahnya sebagai tempat untuk mengikat antar bagian pondasi ke cerucuk tiang dengan dimensi 10x10 cm dan kedalaman 4 m untuk memperkuat pondasi dari stabilitas guling dan geser. Detail urutan pekerjaan konstruksi ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Desain Pondasi Tusuk Sate

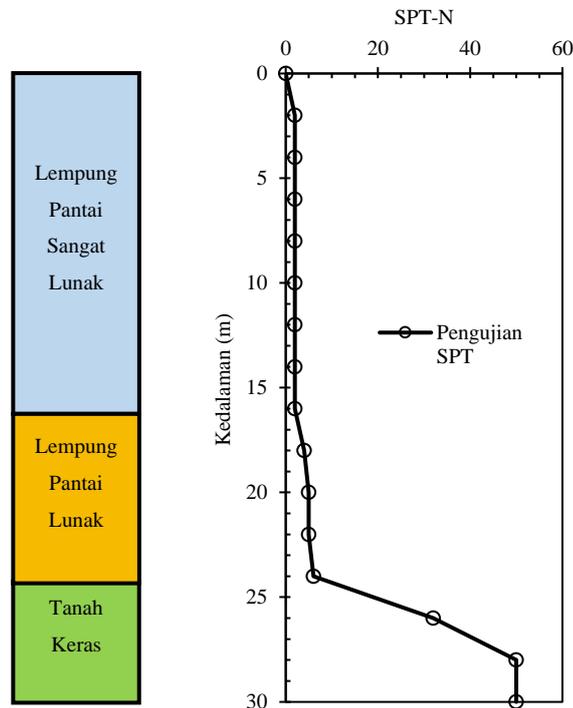
Tabel 1. Detail Urutan Pekerjaan Pondasi Tusuk Sate

Urutan	Urutan Pekerjaan Konstruksi
1	Pekerjaan Pemasangan Cerucuk Ulin
2	Pekerjaan pemasangan pelat beton pondasi (precast)
3	Pekerjaan tanah urug (backfill)

Kondisi Tanah

Kawasan pantai identik dengan tanah lunak (alluvial) yang berasal dari aliran sedimentasi hilir sungai dan hasil erosi kawasan pantai disekitarnya. Tanah jenis alluvial disekitar areal pantau memiliki daya dukung yang rendah dan sifat mampat yang tinggi, sehingga bangunan yang didirikan diatasnya akan memiliki kecenderungan mengalami penurunan dan pondasinya rusak akibat erosi.

Dari pengamatan melalui pengujian SPT-N seperti terlihat pada Gambar 3, diketahui bahwa tekstur tanah dikawasan pantai kilang adalah jenis tanah sangat lunak dan tanah lunak yang diperkirakan merupakan material Tanah dasar pada kedalaman +0.00 sampai -28.00 meter adalah jenis tanah endapan (alluvial) dengan tipe tanah lempung halus, berwarna abu-abu, sangat lunak, plastisitas sedang-tinggi, dan terdapat endapan pecahan batubara yang secara konstruksi merupakan tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah, mudah mampat, mudah terdeformasi, unstabil dan tidak cocok untuk kawasan bangun.

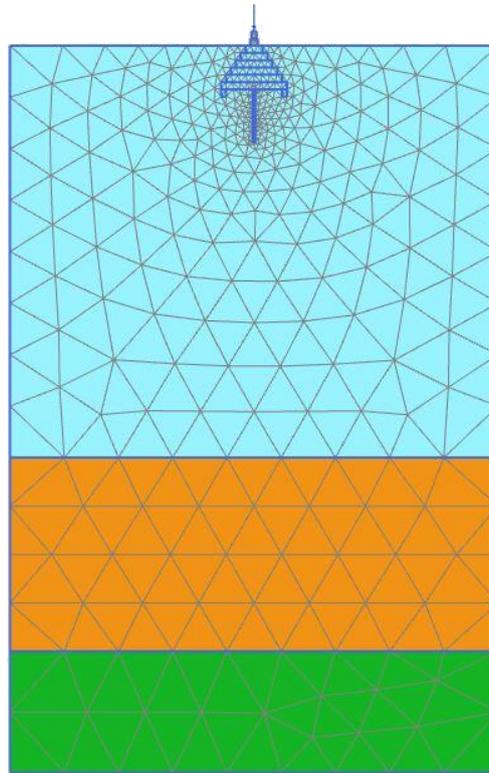


Gambar 3. Informasi Penyelidikan Tanah dengan SPT-N

Hasil pengujian SPT-N pada Gambar 3, menunjukkan bahwa kondisi tanah pada sekitar Teluk Balikpapan yang ditinjau memiliki konsistensi lempung pantai sangat lunak-lunak dengan kedalaman tanah keras berada pada kedalaman 25 m dari permukaan tanah. Pada kedalaman 0-17 m, tanah hanya memiliki nilai N sebesar 2 sehingga konsistensi tanah tersebut terklasifikasi sebagai tanah sangat lunak dengan jenis tanah lempung. Selanjutnya pada kedalaman 17-25 m, tanah masih tergolong lunak dengan nilai N tidak lebih dari 6.

Permodelan Analisis Numerik

Permodelan analisa pondasi tusuk sate menggunakan Plaxis 2D terlihat pada hasil generated mesh model pada Gambar 5. Tanah terbagi menjadi 3 lapisan dengan masing-masing pembagian konsistensi yang dapat dilihat pada Tabel 2. Pada analisis numerik pondasi tusuk sate, dilakukan variasi penambahan beban P pada pondasi untuk mengetahui daya dukung pondasi melalui nilai Pmax yang dicapai berdasarkan nilai penurunan yang terjadi.



Gambar 5. Generated Mesh Model pada Permodelan Analisa Numerik

Input Parameter Tanah

Analisa pada permodelan pada Plaxis dilakukan dengan menggunakan Mohr-Coulomb dengan tipe drainase parameter menggunakan Undrained B melalui modulus tanah efektif (E') dan kuat geser tanah undrained (S_u). Penentuan nilai modulus tanah efektif (E') didasarkan pada nilai pendekatan empiris, dimana Architectural Institute of Japan (2001) menyarankan bahwa untuk tanah lempung nilai $E' = 2800 N$. Selanjutnya penentuan nilai S_u menggunakan pendekatan empiris berdasarkan saran Terzaghi & Peck (1967), dimana nilai $S_u = 6.25 N$.

Tabel 2. Input Parameter Tanah dengan Mohr-Coulomb menggunakan Undrained B

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Nilai N	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	E' (kN/m ²)	S_u
0-17	Lempung Pantai Sangat Lunak	2	17.1	16.2	8000	12,5
17-25	Lempung Pantai Lunak	5	17.55	16.5	20000	31,25
25-30	Tanah Keras	44	23.4	20.4	176000	275

Catatan: ($\nu' = 0,3$)

Input Parameter Struktur

Input parameter struktur terbagi menjadi pelat beton dan cerucuk ulin. Kedua material tersebut menggunakan permodelan tipe drainase Non-Porous pada input Plaxis. Berat volume beton adalah 24 kN/m^3 . Beton yang digunakan dalam permodelan ialah dengan mutu beton K225 atau $F_c = 19 \text{ MPa}$. Sehingga rumus mencari nilai modulus elastisitas pada beton $E = 4700 \sqrt{F_c}$. Selanjutnya penentuan input parameter kayu ulin berdasarkan PPKI (1967), dimana kayu ulin merupakan kayu kelas 1 maka sehingga nilai berat volumenya ialah $10,4 \text{ kN/m}^3$ dengan nilai modulus elastisitas sebesar 12250000 kN/m^2 .

Tabel 3. Input Parameter Pondasi dan Cerucuk Ulin

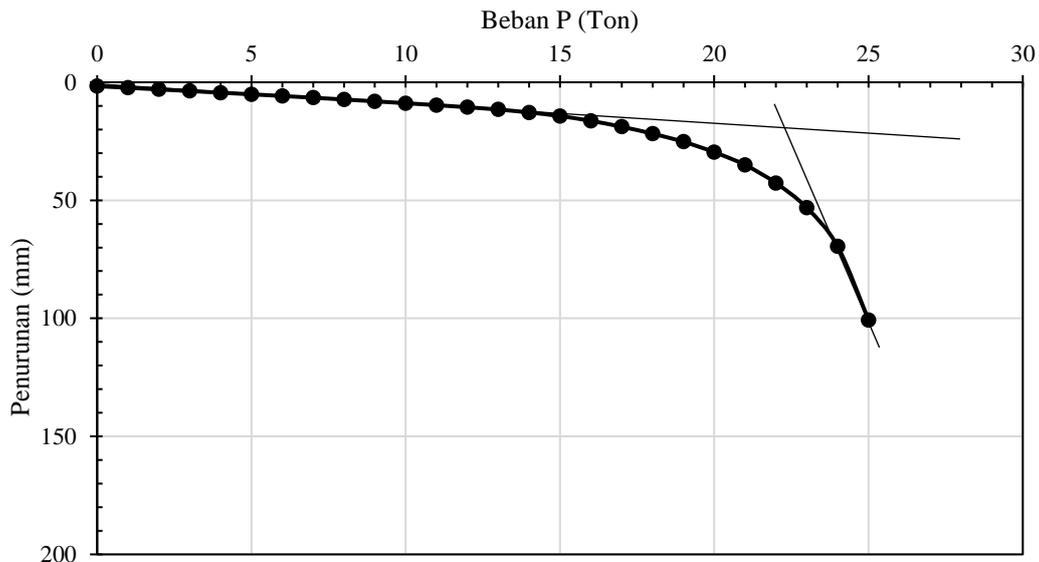
Nama Material	Material Model	γ (kN/m^3)	E (kN/m^2)	ν
Pelat Beton	Non-Porous	24	20487000	0.15
Ulin	Non-Porous	10.4	12250000	0.25

HASIL DAN PEMBAHASAN

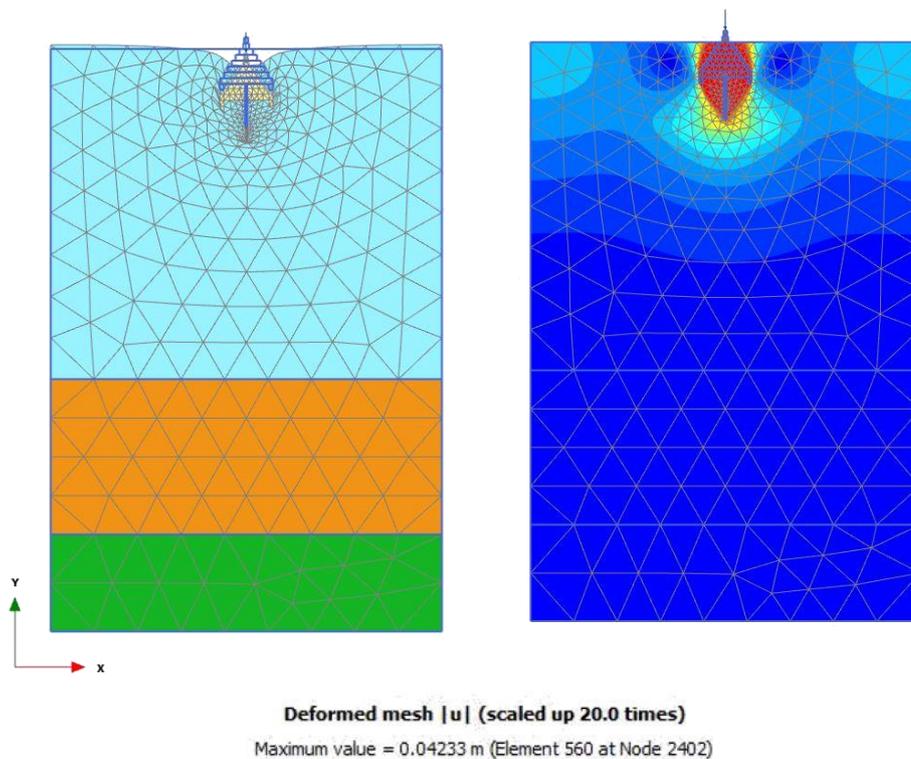
Terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 bentuk keruntuhan pondasi dalam menentukan nilai kapasitas dukung berdasarkan variasi penambahan beban terpusat pada pondasi ditinjau dari nilai penurunan. Menurut Vesic (1963), jenis keruntuhan kondisi pondasi tusuk sate tersebut dapat dikategorikan sebagai keruntuhan geser lokal dimana bidang runtuhnya kontinyu tidak berkembang karena pondasi yang tenggelam akibat bertambahnya beban pada kedalaman yang relatif dalam sehingga menyebabkan tanah mengalami mampat dan kondisi pada permukaan tanah sekitar mengalami penggelembungan tanah. Kondisi ini umum terjadi pada jenis tanah berlempung. Pada Gambar tersebut, terlihat bentuk shading dari perubahan kondisi tanah yang mengalami pergerakan (deformasi) akibat beban terpusat P (Ton). Zona pergerakan tanah terbesar terjadi disekitar pondasi tusuk sate dan cerucuk ulin dengan area yang berwarna merah. Jenis tanah lempung menjadikan area terbatas tepar di tepi sekitar pondasi dengan area pergerakan terbesar mengalami kondisi plastis.

Pada kondisi pondasi menerima beban yang terus bertambah (Ton), pondasi akan terus mengalami penurunan yang stabil hingga sampai pada pemberian beban $P = 15 \text{ Ton}$ pondasi mengalami penurunan sebesar $14,21 \text{ mm}$. Pada kondisi tersebut pondasi telah mencapai kondisi stabil dan mulai mengalami kondisi kritis menuju kondisi fase keruntuhan hingga fase keruntuhan terjadi pada pemberian beban 25 Ton seiring meningkatnya nilai penurunan yang terjadi dengan nilai penurunan 100 mm . Fase ambang batas antara kondisi pondasi yang stabil dan mengalami fase keruntuhan dijadikan dasar dalam penentuan nilai kapasitas

dukung pondasi, dimana pada pondasi tusuk sate tersebut besaran nilai kapasitas dukung pondasi mampu menahan hingga 22,3 Ton dengan besaran penurunan 42 mm. Besaran nilai penurunan ini masih dalam batas toleransi pondasi maksimum untuk tanah lempung menurut Tabel Skempton dan MacDonald (1955) di bawah ini.



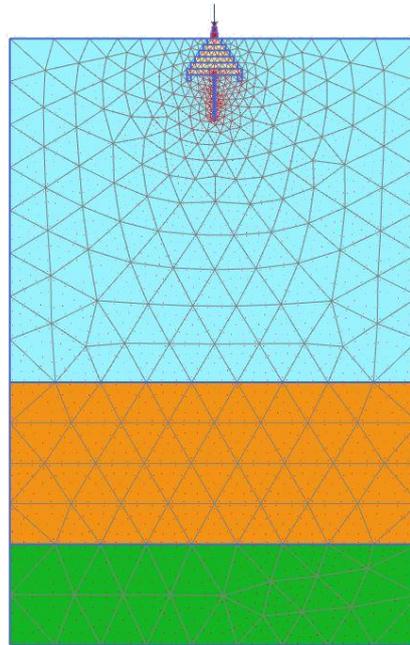
Gambar 6. Kapasitas Dukung Pondasi Tusuk Sate



Gambar 7. Bentuk Bidang Keruntuhan Pondasi Melalui Analisa Numerik

Tabel 3. Batas penurunan maksimum (Skempton dan MacDonald, 1965)

Jenis Pondasi	Batas Penurunan Maksimum (mm)
Pondasi terpisah (isolated foundation) pada tanah lempung	65
Pondasi terpisah pada tanah pasir	40
Pondasi rakit pada tanah lempung	65-100
Pondasi rakit pada tanah pasir	40-65



Gambar 8. Penyebaran Tekanan Beban Terpusat Pada Pondasi Terhadap Tanah Sekitar.

Pada Gambar 8. tersebut terlihat penyebaran beban terjadi pada areal pondasi, menandakan bahwa pondasi tersebut seluruhnya berkontribusi dalam pembagian penyebaran tekanan beban terpusat kepada pondasi sebelum didistribusikan pada tanah sekitar. Peran dari cerucuk ulin sangat terlihat dimana tekanan besar terjadi pada cerucuk atau tiang ulin tersebut, hal ini menjadikan konsep pondasi tusuk sate dirasa lebih baik ketimbang pondasi sebelumnya berupa *stepped reinforced concrete* yang didesain tanpa menggunakan pengaku dan pasak berupa tiang cerucuk ulin.

KESIMPULAN

Penelitian kali ini menggunakan metode analisis terhadap kemampuan daya dukung pondasi tusuk sate yang ditinjau dari nilai penurunan terhadap variasi beban terpusat hingga mencapai beban maksimum yang diperoleh pada pondasi

melalui pemodelan struktur pondasi dengan Plaxis 2D yang ditinjau pada tanah lempung di sekitar Teluk Balikpapan.

Pada hasil analisa yang diperoleh pada studi kali ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Inovasi jenis pondasi dangkal dengan pondasi tusuk sate ditinjau pada tanah lempung di sekitar Teluk Balikpapan membuktikan kehandalan pondasi tusuk sate dalam kapasitas dukung dimana pondasi tusuk sate mampu menahan beban terpusat hingga di fase kritis pada beban 22,3 Ton dengan besaran penurunan sebesar 42 mm.
2. Nilai penurunan yang terjadi pada kondisi pondasi tusuk sate sebesar 42 mm masih berada dalam batas toleransi penurunan maksimum menurut Skempton dan MacDonald (1965) dimana nilai tersebut tidak lebih besar dari 65 mm dari batas toleransi penurunan maksimum pondasi dangkal pada tanah lempung.
3. Peran cerucuk atau tiang ulin sebagai pasak atau pengaku tumpukan pondasi dianggap lebih baik ketimbang desain sebelumnya *stepped reinforced concrete*, karena dari pemetaan penyebaran tekanan pondasi terhadap tanah akibat pemberian beban terpusat, tiang cerucuk tersebut mengalami tekanan paling besar dari pondasi yang menandakan tiang tersebut berkontribusi sangat besar dalam menahan desakan tanah yang terjadi.

Pada penelitian ini, kekurangan data pengujian tanah menjadi salah satu faktor dalam menentukan keandalan pondasi tusuk sate karena hanya menggunakan pengujian lapangan berupa data SPT. Rekomendasi penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan data uji laboratorium yang nantinya dapat menjadi bahan perbandingan dan rujukan tambahan dalam studi mengenai perilaku pondasi tusuk sate pada kondisi pasang dan surut di pesisir Teluk Balikpapan.

DAFTAR PUSTAKA

- Architectural Institute of Japan, 2001. Recommendations of Design of Building Foundation. Japan.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1961. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia. Bandung.
- Hardiyatmo, H.C. (2011), Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Jaky, J., 1944. The Coefficient Of Earth Pressure At Rest. J. Soc. Hungarian Archit. Eng. Budapest Hungary 355-358.
- Kumar, R., Bhargava, K., Choudhury, D., 2016. Estimation of Engineering Properties of Soils from Field SPT using Random Number Generation. Indian National Academy of Engineering. New Delhi.

- Nassaji, F. and Kalantari, B., 2011. SPT Capability To Estimate Undrained Shear Strength Of Fine Grained Soils Of Tehran, Iran. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Oklahoma.
- Ou, C.Y., 2006. *Deep Excavation: Theory and Practice*. Taylor & Francis, Netherlands.
- Rahman, M. M., 2019. *Foundation Design using Standard Penetration Test (SPT) N-value*. Bangladesh.
- Rus, T. Y., Hsiung, B. C. B., Yang, K. H., 2018. 3D Finite Element Analysis of Deep Excavation in Central Jakarta using Total and Effective Shear Strength Properties. In *Proceedings of 20th SEAGC- 3rd AGGSSEA conference in conjunction with 22nd Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering*, pp. 204-212.
- Skempton, A.W and MacDonald, D.H. (1 955), A survey of Comparisons between Calculated and Observed Settlement of Structures on Clay, *Conf. on Correlation of Calculated and Observed Stresses and Displacement*, ICE, London, pp.3 1 8-337.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons, Inc, USA.2nd Edition.
- Vesic, A. S. (1973), *Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations*, *JSMFD*, ASCE, vol. 99, SM I . pp. 45-7 3.