

PENGARUH ELEKTROKINETIK TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI TIANG DI LEMPUNG MARINA

Daniel Tjandra, Paravita Sri Wulandari

Dosen Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil – Universitas Kristen Petra

Email: daniel.tj@petra.ac.id

ABSTRAK

Elektrokinetik adalah salah satu metode perbaikan tanah lunak yang diaplikasikan untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki peningkatan tahanan friksi dan ujung suatu model pondasi tiang di lempung marina setelah dilakukan proses elektrokinetik. Karakteristik tanah pada kondisi mula-mula di sekitar pondasi tiang didapatkan dari beberapa pengujian di laboratorium. Untuk analisa daya dukung tiang, tahanan friksi dan ujung dari pondasi tiang diukur dengan alat pengukur *load cell*, sedangkan analisa kuat geser *undrained* diukur dengan pengujian baling-baling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pada tanah dilakukan proses elektrokinetik selama 24 jam, daya dukung dari pondasi tiang meningkat 14 kali dan semakin dekat dengan tiang, kuat geser *undrained* juga semakin meningkat.

Kata kunci: elektrokinetik, pondasi tiang, daya dukung, kuat geser *undrained*.

ABSTRACT

Electrokinetics is one of soft ground improvement methods to improve its bearing capacity. The objective of this research is to investigate the increase of friction and end bearing resistance of an embedded instrumented model pile in marine clay after electrokinetics treatment. The initial geotechnical properties of soil surrounding the pile foundation is obtained by several soil laboratory tests. For pile bearing capacity analysis, friction and end bearing resistance of pile was measured by load cell measuring device, while un-drained shear strength analysis was measured by vane shear test. The result of this research showed that after 24 hours electrokinetics treatment, the un-drained shear strength increased closer to the pile, and the bearing capacity of pile increased 14 times.

Keywords: electrokinetics, pile foundation, bearing capacity, un-drained shear strength.

PENDAHULUAN

Suatu pondasi struktur yang terletak di tanah lunak pada umumnya menghadapi permasalahan serius yang berkaitan dengan rendahnya daya dukung tanah dan besarnya penurunan yang terjadi pada saat pembebanan pada struktur. Alternatif solusi untuk permasalahan pondasi tersebut adalah dengan memperbesar ukuran pondasi atau memperbaiki kondisi tanah lunak.

Makalah ini memaparkan hasil dari suatu percobaan elektrokinetik di laboratorium yang dilakukan pada kondisi tanah tanpa adanya aliran air. Elektrokinetik adalah salah satu metode perbaikan tanah lunak yang diaplikasikan untuk meningkat-

kan daya dukung tanah lunak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki peningkatan tahanan friksi dan ujung dari pondasi tiang di lempung marina setelah dilakukan proses elektrokinetik. Pondasi tiang yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari bahan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik.

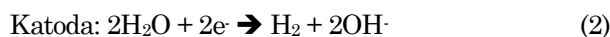
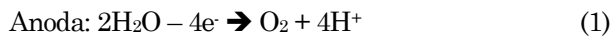
TEORI ELEKTROKINETIK

Elektrokinetik adalah suatu metode perbaikan tanah dengan cara memberikan tegangan pada elektroda yang ditanam di tanah untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh J. Q. Shang dan K. L. Masterson [1], perbaikan karakteristik tanah ditunjukkan dengan peningkatan nilai kuat geser sebesar 69 persen, modulus geser sebesar 151 persen, dan tegangan pra-konsolidasi sebesar 700 persen. Pada hasil penelitian selanjut-

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 8, Nomor 2, September 2006.

nya, dengan pengaturan penempatan elektroda yang lebih baik, kapasitas daya dukung dari suatu model pondasi meningkat sampai 4 kali lipat dan kuat geser *undrained* meningkat sampai 3 kali lipat setelah diberi tegangan DC sebesar 5.2 Volt secara terus menerus selama 14 hari [2].

Pada saat dua kutub elektroda (anoda dan katoda) ditanam di dalam tanah dan dialiri dengan arus listrik, maka akan terjadi proses elektrolisis di elektroda dengan persamaan sebagai berikut [3]:



Proses elektrolisis di atas diikuti dengan perpindahan H^+ ke kutub katoda dan OH^- ke kutub anoda (*electromigration*) serta perpindahan air pori tanah dari area di sekitar anoda menuju ke katoda (*electroosmosis*). Perpindahan air pori tanah ini mempunyai pengaruh yang besar dalam peningkatan daya dukung tanah di sekitar kutub anoda.

Metode elektrokinetik sebagai alternatif perbaikan tanah memiliki beberapa kelebihan, seperti: dapat diterapkan pada tanah yang memiliki permeabilitas rendah, efektif untuk tanah yang memiliki butiran sangat halus, dan derajat kontrol arah aliran air pori tinggi. Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses elektrokinetik dijelaskan pada Tabel 1 di bawah ini [4].

Tabel 1. Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Proses Elektrokinetik

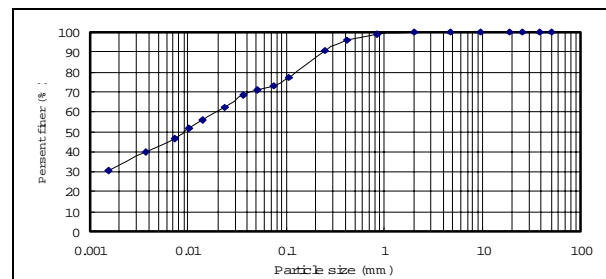
	Faktor-faktor	Karakteristik
Kondisi tanah	Ukuran butiran tanah dan tipe mineral	<ul style="list-style-type: none"> Efektif bila 30% atau lebih ukuran butiran lebih kecil dari $2\mu\text{m}$ Lebih efektif pada <i>silty clays</i> dengan <i>moderate plasticity</i> (<i>kaolinite dan illite</i>) dibandingkan pada <i>high plasticity clays</i>
	Kadar garam	Tidak efektif pada tanah yang memiliki kadar garam yang tinggi
	pH	<ul style="list-style-type: none"> Tidak efektif pada pH yang rendah ($\text{pH} < 6$) Sangat efektif pada pH yang tinggi ($\text{pH} > 9$)
Sistem	<i>Current density</i>	Bervariasi tergantung pada karakteristik geoteknik tanah
	Macam elektroda	Logam perak, platinum, besi, dan tembaga lebih efektif daripada aluminium, carbon hitam, dan timah
	Konfigurasi elektroda	Direncanakan berdasarkan kondisi lapangan (arah aliran air pori)

KARAKTERISTIK GEOTEKNIK

Pada penelitian ini, metode elektrokinetik diaplikasikan pada lempung marina (*grey sea clay*) dengan kadar air rata-rata 68.19 %. Karakteristik contoh tanah seperti: kadar air, berat jenis, batas cair, batas plastis, kadar garam, gradasi butiran tanah, klasifikasi tanah, dan nilai pH dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Karakteristik Tanah pada Kondisi Mula-mula

Kadar air (%)	Berat jenis	Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Kadar garam (g/L)	Gradasi butiran tanah			Klasifikasi tanah (USCS)	pH
					gravel (%)	sand (%)	fines (%)		
68.19	2.709	35.41	28.41	17.3	0	26.82	73.28	ML-CL	9.08



Gambar 1. Gradasi Butiran Tanah

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan cara memberikan tegangan sebesar 20 Volt secara kontinu selama 3, 6, 12, dan 24 jam. Pada penelitian ini, model pondasi tiang diwakili oleh tiang bulat yang terbuat dari *stainless steel* dengan diameter 28 mm dan panjang 600 mm. Model pondasi tiang ini berfungsi sebagai anoda, sedangkan katoda yang digunakan terbuat dari tembaga. Model dan konfigurasi elektroda pada percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Di dalam model pondasi tiang dipasang dua *load cells*, yang berfungsi sebagai alat pengukur daya dukung tiang (Gambar 3). *Load cell* yang berada di bagian atas untuk mengukur daya dukung friksi sepanjang 10 cm sisi bawah tiang, sedangkan *load cell* yang berada di bagian bawah untuk mengukur daya dukung ujung dari tiang.

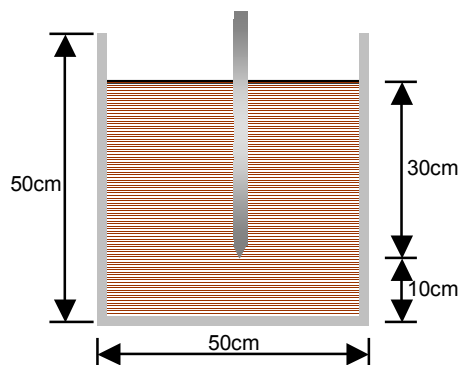
PROSEDUR PERCOBAAN DI LABORATORIUM

Percobaan di laboratorium dilakukan dengan mengikuti prosedur seperti terlihat pada Gambar 4. Tanah dimasukkan ke dalam kotak plexiglas berbentuk kubus terbuka berukuran 50 x 50 x 50 cm hingga mencapai volume 50 x 50 x 40 cm dengan pemadatan secara manual dengan tangan, setelah itu pipa tembaga yang berfungsi sebagai katoda ditanamkan ke dalam tanah sampai kedalaman 35 cm (Gambar 4.a). Model pondasi tiang dengan diameter 2.8 cm yang terbuat dari *stainless steel* ditanamkan ke dalam tanah sampai kedalaman 30 cm, kemudian arus listrik dialirkan pada kedua elektroda secara kontinu dengan durasi waktu yang telah ditentukan (Gambar 4.b). Selanjutnya tiang ditekan ke dalam tanah untuk mendapatkan nilai

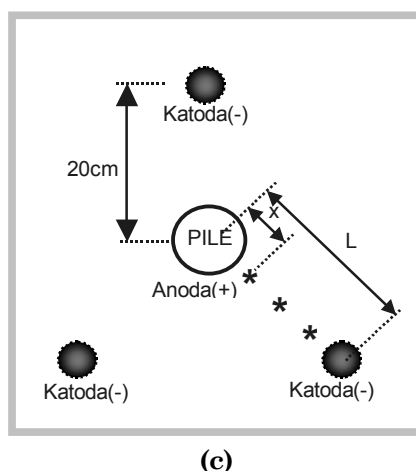
tahanan friksi dan ujung setelah proses elektrokinetik (Gambar 4.c). Tahap akhir, model pondasi tiang ditarik dari tanah dan setelah itu dilakukan pengujian baling-baling untuk mendapatkan nilai kuat geser *undrained* pada kedalaman 35 cm (Gambar 4.d). Pengujian baling-baling dilakukan pada lokasi $x/L=0$ (anoda), $x/L=0.25$, $x/L=0.5$, $x/L=0.75$, dan $x/L=1$ (katoda) seperti terlihat pada Gambar 2.c.



(a)

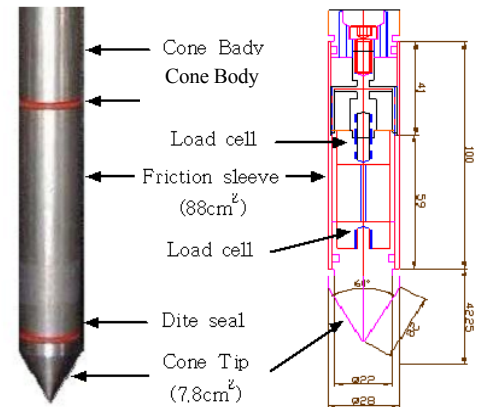


(b)



(c)

Gambar 2. Model dan Konfigurasi Elektroda (a) Peralatan Pembebanan dan Kotak Contoh Tanah, (b) Kedalaman Model Pondasi Tiang, (c) Jarak antar Elektroda



Gambar 3. Alat Pengukur Daya Dukung pada Model Pondasi Tiang



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. Prosedur Percobaan Laboratorium

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Hasil dari penelitian ini dianalisa terhadap daya dukung model pondasi tiang dan kuat geser *undrained* dari tanah sebelum dan sesudah proses elektrokinetik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan dari metode perbaikan tanah ini.

Daya Dukung Model Pondasi Tiang

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan daya dukung dari model pondasi tiang setelah proses elektrokinetik, dimana daya dukung tiang meningkat 5, 7, 11, dan 14 kali setelah 3, 6, 12, dan 24 jam seperti terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 5.a. Selain itu, ditunjukkan pula bahwa rasio peningkatan tahanan friksi lebih besar dari

pada tahanan ujung pada setiap durasi waktu. Tabel 4 dan Gambar 5.b menunjukkan peningkatan kapasitas daya dukung tanah terhadap tiang yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\blacksquare \text{ Kapasitas friksi } Q_s = \frac{P}{A_s} \quad (3)$$

$$\blacksquare \text{ Kapasitas ujung } Q_b = \frac{P}{A_b} \quad (4)$$

di mana:

P = daya dukung tiang dari pembacaan *load cell* (kg)

As = luasan bidang kontak antara sensor friksi dengan tanah (cm²)

= (π x diameter tiang) x panjang selubung friksi = (π x 2.8) x 10 = 87.92 cm²

Ab = luasan penampang ujung tiang (cm²)

= 0.25 x π x 2.8² = 6.15 cm²

Pada Gambar 5 dapat dilihat peningkatan daya dukung tiang dan kapasitas daya dukung tanah yang signifikan setelah proses elektrokinetik selama 3, 6, 12, dan 24 jam. Selain itu ditunjukkan pula bahwa setelah durasi 6 jam, proses elektrokinetik lebih efektif sejalan dengan peningkatan durasi waktu, dimana peningkatan daya dukung tiang dan kapasitas daya dukung tanah lebih tinggi dari pada sebelum durasi 6 jam.

Table 3. Daya Dukung Tiang

Durasi waktu (jam)	Tahanan friksi (kg)			Tahanan ujung (kg)			Tahanan total (kg)		
	Awal*	Akhir**	Rasio	Awal*	Akhir**	Rasio	Awal*	Akhir**	Rasio
3	1.10	5.63	5.1	1.5	7.4	4.9	2.6	13.03	5.0
6	1.0	7.60	7.6	1.5	9.8	6.5	2.5	17.4	7.0
12	1.13	13.81	12.2	1.8	19.1	10.6	2.93	32.91	11.2
24	1.04	16.87	16.2	1.6	21.8	13.6	2.64	38.67	14.6

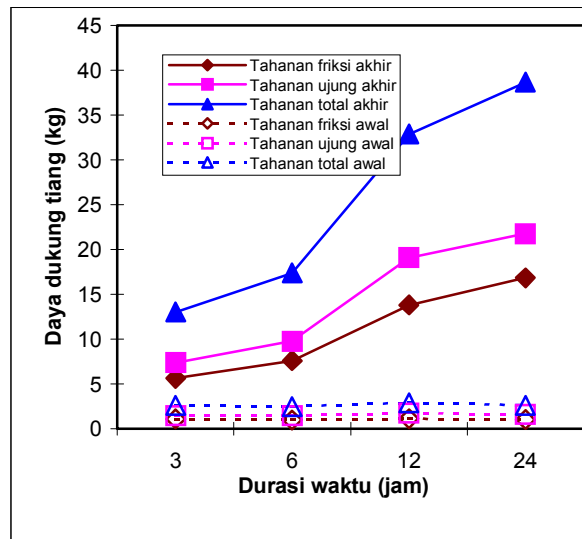
* Sebelum proses elektrokinetik; ** Setelah proses elektrokinetik

Table 4. Kapasitas Daya Dukung Tanah

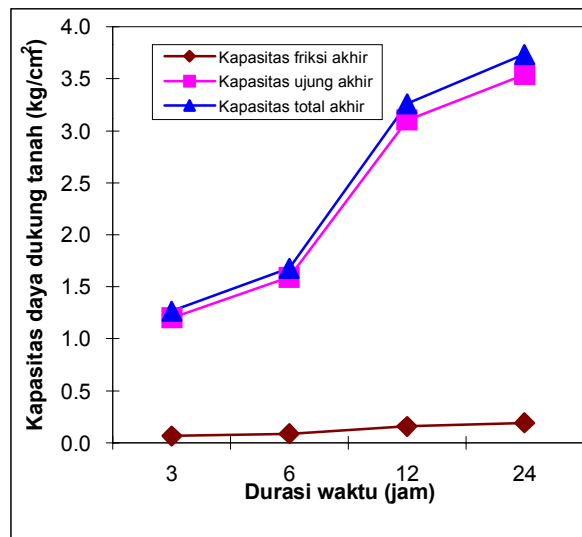
Durasi waktu (jam)	Kapasitas friksi (kg/cm ²)	Kapasitas ujung (kg/cm ²)	Kapasitas total (kg/cm ²)
3	0.06	1.20	1.27
6	0.09	1.59	1.68
12	0.16	3.10	3.26
24	0.19	3.54	3.73

Kuat Geser *Undrained*

Setelah proses elektrokinetik selama 3, 6, 12, dan 24 jam, terjadi peningkatan kuat geser *undrained* (Cu) tanah yang berarti seperti terlihat pada Gambar 6. Selain itu, semakin dekat dengan anoda (tiang), kuat geser *undrained* semakin meningkat. Pada durasi 6 jam pertama, nilai Cu cenderung konstan bahkan menurun, hal ini juga menunjukkan bahwa proses elektrokinetik lebih efektif setelah durasi 6 jam pertama.

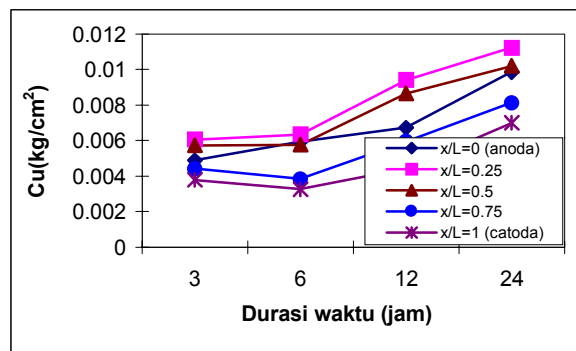


(a)



(b)

Gambar 5. (a) Peningkatan Daya Dukung Tiang, (b) Kapasitas Daya Dukung Tanah



Gambar 6. Kuat Geser Undrained pada Kedalaman 35 cm

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, percobaan elektrokinetik dilakukan sebagai salah satu metode perbaikan tanah. Dari hasil pengujian laboratorium dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses elektrokinetik dapat meningkatkan daya dukung tiang di lempung marina, di mana daya dukung tiang mengalami peningkatan yang berarti setelah 24 jam proses elektrokinetik sebesar 14 kali dibandingkan daya dukung tiang mula-mula.
2. Rasio peningkatan tahanan friksi lebih besar dari pada tahanan ujung pada setiap durasi waktu. Dengan demikian proses elektrokinetik mempunyai pengaruh yang lebih besar pada peningkatan tahanan friksi.
3. Nilai kuat geser *undrained* (*Cu*) juga mengalami peningkatan yang berarti (lebih dari 80%) sejalan dengan pertambahan waktu dari 3 jam ke 24 jam.
4. Semakin dekat dengan kutub anoda, nilai kuat geser *undrained* semakin meningkat.
5. Pada penelitian ini, metode elektrokinetik lebih efektif setelah durasi 6 jam pertama. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan daya dukung tiang dan kapasitas daya dukung tanah yang lebih besar setelah durasi 6 jam dan nilai kuat geser *undrained* (*Cu*) yang cenderung konstan atau bahkan menurun sebelum durasi 6 jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Shang, J.Q. and Masterson, K.L., An Electrokinetic Testing Apparatus for Undisturb/ Remolded Soils under In-Situ Stress Condition, *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 23, No. 2, June 2000, pp. 221-230.
2. Misic, S., Shang, J.Q., and Lo, K.L., Load-carrying Capacity Enhancement of Skirted Foundation Element by Electrokinetics, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 13, No. 3, September 2003.
3. Richard, E.S. and Krishna, R.R., *Effect of pH Control at The Anode for The Electrokinetic Removal of Phenanthrene From Kaolin Soil*, Elsevier Science Ltd, December 2002, pp. 273-287.
4. Shang, J.Q. and Lo, K.Y., Electrokinetic Dewatering of a Phosphate Clay, *Journal of Hazardous Materials*, 1997, pp. 117-133.