

PERILAKU DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL DI TANAH LUNAK PONTIANAK TERHADAP WAKTU DI BAWAH PENGARUH MEDAN LISTRIK

Hermanto¹, Rustamaji², Aprianto²

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

²Dosen Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

E-mail: hermantomr26@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lunak menjadi permasalahan serius dalam pembangunan konstruksi khususnya di daerah Pontianak. Tanah lunak mempunyai sifat geoteknis yang kurang menguntungkan bagi konstruksi. Suatu fondasi struktur bangunan pada tanah lunak umumnya terjadi permasalahan rendahnya daya dukung tanah dan besarnya suatu penurunan yang terjadi. Salah satu metode perbaikan tanah lunak untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak adalah metode elektrokinetik. Metode ini dilakukan dengan menyalurkan tegangan elektroda yang ditancapkan pada tanah lunak untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak. Penelitian untuk menganalisa daya dukung ultimate tiang baja tunggal sebelum dan sesudah proses elektrokinetik, guna memperoleh besarnya pengaruh yang ditimbulkan dari pemberian variabel kuat arus pada fenomena elektroosmosis terhadap daya dukung ultimate tiang baja tunggal. Penelitian merupakan studi lapangan menggunakan data loading test tiang tunggal. Hasil penelitian di lapangan selanjutnya dibandingkan dengan daya dukung ultimate tiang tanpa perlakuan dengan tiang yang dialirkan arus listrik searah. Berdasarkan analisa data dari hasil penelitian, pemberian kuat arus listrik pada perlakuan elektrokinetik mampu meningkatkan daya dukung ultimate tiang pancang hingga 90% dengan dialiri listrik searah dengan kuat arus 2560 mA selama 7 hari. Hal ini menghasilkan bahwa metode elektrokinetik ini dapat dijadikan sebagai alternatif perbaikan tanah lunak yang inovatif dan menjanjikan.

Kata kunci: elektroosmosis, tanah lunak, tiang tunggal, tegangan, kuat arus, loading test, daya dukung.

ABSTRACT

Soft soil is a serious problem for all types of construction development, especially in the Pontianak area. A foundation of structures on soft soil generally faces serious problems related to the low bearing capacity of the soil and the magnitude of the soil settlement. One of the methods of soft soil improvement that can be applied to increase soft soil bearing capacity is electrokinetic method. This method is carried out by assigning voltage to ground-implanted electrodes to improve the geotechnical characteristics of soft soil. This study aims to analyze the bearing capacity of piles before and after electrokinetic process in order to find out how effective it is by giving electrical current variable on electroosmosis phenomenon toward the bearing capacity of a single steel pile. In general, this research is a field study using single pile loading test data from the field research by comparing the bearing capacity of the pile without treatment to the pile which is treated with direct current. Based on the data analysis of the research, the application of electrical current on the electrokinetic treatment can increase the bearing capacity of the pile up to 90% by assigning electrical direct current of 2560 mA for 7 days. This suggests that the electrokinetic method can be implemented as an innovative and promising soft soil improvement..

Keywords: electrokinetic, electroosmosis, soft soil, single pile, voltage, electrical current, loading test, bearing capacity.

I. PENDAHULUAN

Desain struktur geotek semakin meluas serta berhubungan langsung dengan pembangunan yang kompleks (contoh: timbunan, fondasi, dinding penahan tanah, jalan, bangunan gedung, dermaga, jembatan, dll) dan berkembang hingga ke area yang memiliki kualitas tanah yang kurang baik (tanah lunak) seperti di Kota Pontianak. Struktur fondasi terletak di dalam tanah lunak pada umumnya menghadapi permasalahan serius yang berkaitan dengan rendahnya daya dukung tanah dan besarnya penurunan saat pembebanan pada

struktur bangunan. Alternatif solusi untuk permasalahan fondasi tersebut adalah memperbesar ukuran fondasi atau memperbaiki kondisi tanah lunak. Elektrokinetik adalah salah satu metode perbaikan tanah lunak yang diaplikasikan untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak. Metode ini dilakukan dengan memberikan tegangan pada elektroda yang ditanam pada tanah untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak.

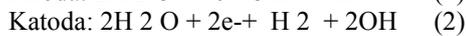
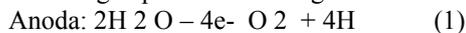
Solusi untuk perbaikan tanah tersebut biasanya adalah dengan memasang vertical drain, menggunakan cerucuk, dan menggunakan tiang

pancang. Contoh perbaikan tanah lunak yang biasanya dilakukan antara lain: Turap, Pondasi, Dinding Penahan Tanah, dll.

Selain itu juga diterapkan beberapa metode perbaikan tanah lunak yang umum dipakai yaitu : cara mekanis (*fisis*) Perbaikan dilakukan dengan cara pemadatan, mencampur tanah dengan bahan granuler (butir kasar), cara drainase / *dewatering*, cara kimia, dan cara termal. Salah satu metode perbaikan tanah yang jarang diketahui yaitu metode elektrokinetik. Metode ini dapat meningkatkan daya dukung tanah dengan diberikannya tegangan pada elektroda yang ditanam dalam tanah sebagai perbaikan sifat dari tanah lunak.

Pada penelitian ini, akan dilakukan percobaan dengan menancapkan suatu batang besi kosong kedalam tanah sedalam 4 meter kemudian besi tersebut akan dialiri aliran listrik untuk mengetahui bagaimana pengaruh kapasitas daya dukung pondasi tiang tersebut akibat dari gejala elektrokinetik yang terjadi.

Elektrokinetik adalah suatu metode perbaikan tanah dengan cara memberi tegangan beda potensial pada anoda (kutub positif) dan katoda (kutub negatif) yang ditanam di tanah untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak. Dalam metode elektrokinetik terjadi proses elektrolisis. maka akan terjadi proses elektrolisis di elektroda dengan persamaan sebagai berikut :



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 .

Tabel 1 Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Proses Elektrokinetik

Faktor-faktor	Karakteristik
Ukuran butiran tanah dan tipe mineral	<ul style="list-style-type: none"> Efektif bila 30% atau lebih ukuran butiran lebih kecil dari 2μ m Lebih efektif pada <i>silly clays</i> dengan <i>moderate plasticity</i> (<i>kaolinite dan illite</i>) dibandingkan pada <i>high plasticity clays</i>
Kondisi tanah	
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 (pH < 6) Sangat efektif pada pH yang tinggi (pH > 9)
Current density	Bervariasi tergantung pada karakteristik geoteknik tanah
Sistem	
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)

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Kristen Petra <http://puslit.petra.ac.id/journals/civil/>

Penelitian ini sebelumnya memang bukan penelitian yang baru, penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu pengaruh elektrokinetik yang dihubungkan dengan elektroosmosis, pengaruh kadar air dengan elektrokinetik, pengaruh kedalaman elektroda (besi percobaan), dan pengaruh voltase. Pada penelitian kali ini perbedaannya terdapat pada metode percobaan tiang pancang dengan dan tanpa perlakuan elektrokinetik untuk melihat perbedaan kapasitas daya dukung yang terjadi.

Penelitian ini dilakukan dilapangan yang berada di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, yaitu disamping gazebo tengah, atau didepan ruang kuliah D18 dengan menggunakan data sekunder sifat fisis dan mekanis tanah sekitar untuk kemudian dilakukan uji pembebanan tiang dengan dan tanpa perlakuan elektrokinetik untuk mendapatkan daya dukung yang terjadi.

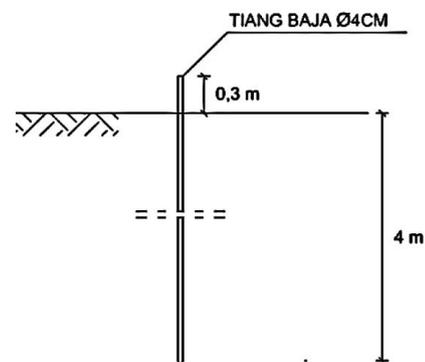
II. METODELOGI DAN PUSTAKA

Bahan atau sampel yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

- Sampel tanah berupa tanah lempung lunak kondisi asli (tidak terganggu) berlokasi disamping gazebo tengah, atau didepan ruang kuliah D18 Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
- Tiang baja (pipa baja) dengan diameter 4 cm dan panjang 4,30 m (disisakan 30 cm di atas permukaan tanah).

Adapun peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

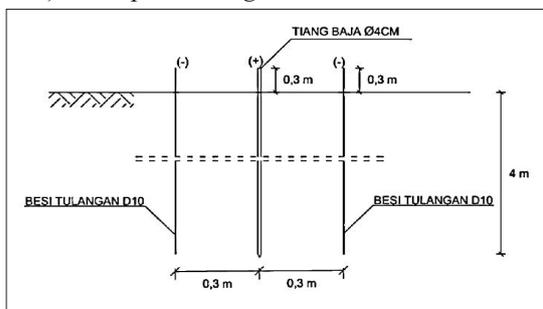
- Peralatan pemancangan tiang.
- Peralatan untuk uji pembebanan tiang (*loading test*).
- Peralatan untuk perlakuan elektrokinetik, berupa: *DC Power Supply*, kabel listrik, multimeter, dan jepit buaya.



Gambar 1. Tiang pancang

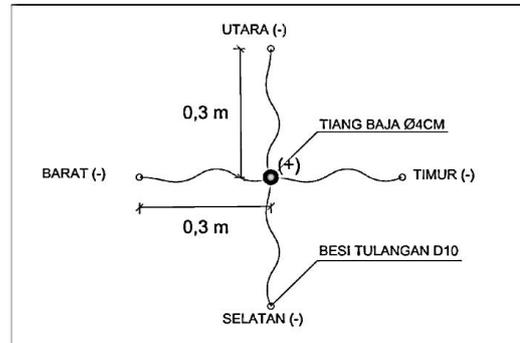
Secara umum penelitian ini merupakan studi lapangan menggunakan data *loading test* tiang tunggal hasil penelitian di lapangan dengan membandingkan tiang tanpa perlakuan yang didiamkan selama 21 hari, 28 hari, dan 35 hari dengan tiang yang dialiri listrik 320 mA selama 15 hari, 21 hari, 28 hari, dan 35 hari. Hasil *loading test* tiang akan dihubungkan dengan perhitungan dari daya dukung tiang tunggal berdasarkan data sekunder tes sondir dan data uji laboratorium (Azami, 2017). Sedangkan hasil interpretasi data *loading test* menggunakan tiga metode yaitu : Metode Elastis Plastis, Metode Mazurkiewich, dan Metode Chin, sehingga akan didapat daya dukung fondasi. Akan dianalisa pula secara umum pengaruh perbedaan daya dukung yang terjadi dengan melihat parameter lain seperti tegangan, permeabilitas, pH, dan penampakan visual tanah. Penelitian yang dilakukan meliputi :

- a. Tiang Tanpa Perlakuan Elektrokinetik
 - 1) Mengambil data sekunder berupa hasil tes sondir dan uji laboratorium dengan tujuan mencari beban rencana *loading test* dan daya dukung tiang tunggal.
 - 2) Pembersihan di sekitar lokasi penelitian.
 - 3) Penancangan tiang fondasi untuk *loading test*.
 - 4) Persiapan *loading test*.
 - 5) *Loading test* dilakukan dengan metode *Quick Maintained Loading Test* secara bertahap.
 - 6) Tiang tanpa perlakuan didiamkan selama 21 hari, 28 hari, dan 35 hari. Masing-masing diuji 3 sampel untuk setiap jumlah harinya.
- b. Tiang dengan metode Elektrokinetik
 - 1.) Mengambil data sekunder berupa hasil tes sondir dan uji laboratorium dengan tujuan mencari beban rencana *loading test* dan daya dukung tiang tunggal.
 - 2.) Pembersihan disekitar lokasi penelitian.
 - 3.) Penancangan tiang fondasi untuk *loading test*.
 - 4.) Pengaliran listrik (elektrokinetik).
 - 5.) Persiapan *loading test*.



Gambar 2. Skets pemancangan

- 6.) *Loading test* dilakukan dengan metode *Quick Maintained Loading Test* secara bertahap.
- 7.) Tiang dengan perlakuan elektrokinetik diuji dengan dialiri variabel kuat arus 320 mA selama 15 hari, 21 hari, 28 hari, dan 35 hari.



Gambar 3. Tampak atas

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya dukung tiang tunggal dalam percobaan ini didapat dari uji pembebanan dengan metode *Quick Maintained Load Test*. Adapun daya dukung yang dianalisa adalah daya dukung tanah tanpa perlakuan elektrokinetik dan dengan perlakuan elektrokinetik.

hasil uji pembebanan dapat dilakukan interpretasi untuk menentukan besarnya daya dukung ultimit tiang tunggal. Adapun metode yang digunakan adalah:

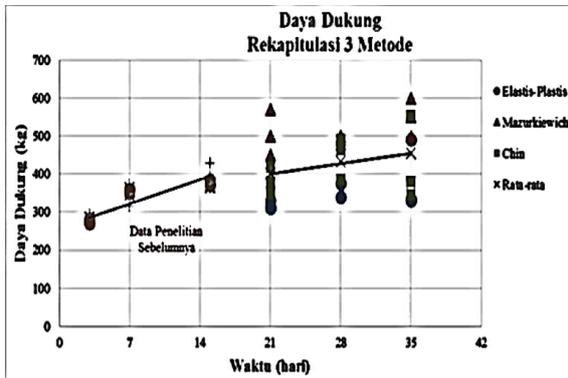
- a. Metode Elastis-Plastis.
- b. Metode Mazurkiewich
- c. Metode Chin

Daya Dukung Tiang Tanpa Perlakuan Elektrokinetik

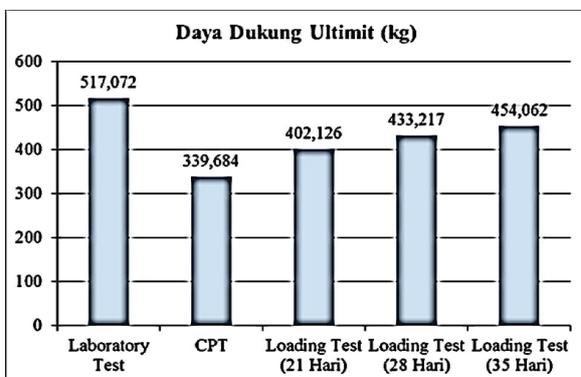
Tahap pertama dalam pengerjaan uji pembebanan yang dilakukan yaitu pemancangan tiang fondasi. Sebelum tiang besi dibebani, tiang besi dibiarkan selama waktu tunggu yang telah ditentukan untuk kondisi tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik. Setelah dilakukan uji pembebanan didapatkan data beban dan jarak penurunan untuk setiap sampel tiang dengan waktu tunggu 21, 28, dan 35 hari. Rekapitulasi hasil interpretasi daya dukung ultimit tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil dari interpretasi dengan menggunakan berbagai metode, dapat dilihat bahwa daya dukung ultimit tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik terhadap waktu tunggu. Apabila dibandingkan dengan daya dukung rencana awal dari data sekunder uji laboratorium dan uji sondir, maka daya dukung yang paling mendekati adalah daya dukung hasil uji

sondir dengan daya dukung hasil *loading test* dengan waktu tunggu 21 hari.



Gambar 4. Grafik rekapitulasi hasil interpretasi. Besarnya daya dukung untuk setiap metode secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.



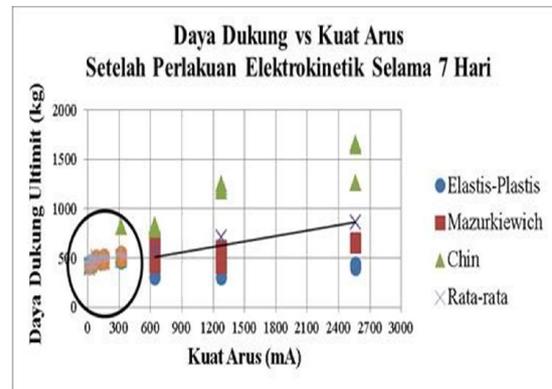
Gambar 5 Grafik daya dukung rencana awal dan *loading test*

Daya Dukung Tiang Setelah Perlakuan Elektrokinetik

Sama seperti tiang tanpa perlakuan, tiang yang akan diberi perlakuan elektrokinetik akan dipancang terlebih dahulu. Setelah itu, langsung dialiri arus listrik searah dengan variable arus listrik 320 mA, 640 mA, 1280 mA dan 2560 mA selama 7 hari. Dan kemudian dilakukan uji pembebanan. Berdasarkan hasil interpretasi dengan menggunakan berbagai metode, dapat dilihat bahwa daya dukung tiang tunggal setelah perlakuan elektrokinetik memiliki kecenderungan semakin tinggi sebanding dengan besarnya kuat arus listrik yang diberikan. Adapun rata-rata peningkatan daya dukung tiang tunggal yaitu untuk kuat arus 320 mA hari sebesar 520.571 kg, kuat arus 640 mA sebesar 564.449 kg, kuat arus 1280 mA sebesar 711.213 kg, dan kuat arus 2560 mA sebesar 864.071 kg. Rekapitulasi hasil interpretasi daya dukung ultimit tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik dapat dilihat pada Gambar 6.

Apabila dibandingkan dengan tiang tanpa perlakuan elektrokinetik untuk waktu tunggu yang

sama dengan lama penyetruman tiang tunggal yang 35 hari, daya dukung tiang tanpa perlakuan elektrokinetik hanya sebesar 454,062 kg



Gambar 6 Grafik rekapitulasi hasil interpretasi daya dukung ultimit tiang tunggal setelah perlakuan elektrokinetik terhadap kuat arus

. Setiap variabel kuat arus 320 mA, 640 mA, 1280 mA, dan 2560 mA, masing-masing mengalami kenaikan sebesar 14.6%; 24.3%; 56.6%; dan 90.3%. Peningkatan daya dukung ini dipengaruhi oleh menurunnya tekanan air pori positif akibat perlakuan elektrokinetik. Pergerakan air mengalir menjauhi tiang ini dikenal dengan fenomena elektroosmosi dimana air mengalir dari anoda (tiang) menuju katoda (besi tulangan). Pada awal pemancangan tekanan air pori akan meningkat dan setelah dialiri listrik pada jangka waktu 7 hari dengan kuat arus tertentu tekanan air pori positif akan secara perlahan turun. Bahkan daya dukung tiang tunggal setelah dialiri listrik searah selama 7 hari saja lebih tinggi dibandingkan dengan tiang tanpa perlakuan elektrokinetik meskipun tiang didiamkan selama 35 hari hanya mencapai daya dukung 454.062 kg.

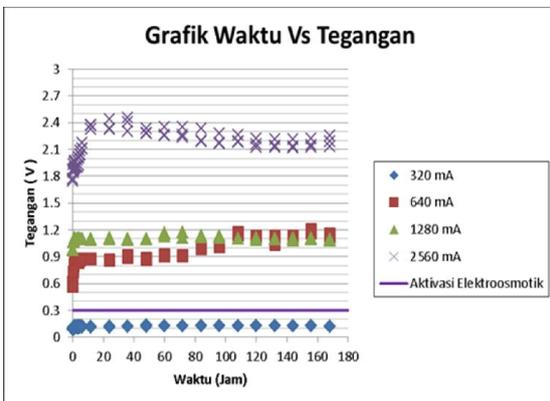
Parameter Pendukung

Pada penelitian dengan metode elektrokinetik ini digunakan arus sebesar 320 mA, 640 mA, 1280 mA, dan 2560 mA, yang dialirkan selama 7 hari pada tiang tunggal. Berdasarkan pengamatan selama berlangsungnya pengujian elektrokinetik diketahui bahwa potensial listrik cenderung meningkat terhadap waktu. Peningkatan potensial listrik tersebut berkaitan dengan konduktivitas sistem yang berhubungan erat dengan beberapa proses yang terjadi dalam sistem elektrokinetik yaitu meliputi proses ionisasi, disosiasi, elektrolisis dan reaksi-reaksi elektrokimia lainnya yang memberikan pengaruh kepada konduktivitas suatu sistem elektrokinetik (Rustamaji, 2007). Beberapa parameter yang ikut diteliti selama penelitian berlangsung diantaranya mengukur tegangan listrik, pH

tanah, permeabilitas tanah dan kuat geser tanah tidak teraliri (*undrained shear strenght*).

Tegangan Listrik

Pada bagian sebelumnya, dijelaskan bahwa semakin besar kuat arus yang diberikan maka dukung tiang cenderung semakin meningkat pula. Apabila dikaitkan dengan tegangan listrik yang dihasilkan untuk masing-masing variabel kuat arus, kenaikan daya dukung tiang tidak terlepas dari semakin besarnya tegangan yang dihasilkan dan semakin cepatnya gradien potensial mencapai 1 V/m. Semakin besar tegangan yang dihasilkan dan semakin cepatnya mencapai 1 V/m, semakin besar pula daya dukung yang dihasilkan. Dari hasil penelitian di atas, ditunjukkan bahwa potensial listrik semakin meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Peningkatan potensial listrik ini berkaitan dengan konduktivitas sistem yang berhubungan dengan beberapa proses yang terjadi di dalam sistem elektrokinetik antara lain ionisasi, disosiasi, elektrolisis, dan reaksi-reaksi elektrokimia lainnya yang memberikan pengaruh kepada konduktivitas suatu sistem elektrokinetik (Rustamaji, 2007). Lamanya proses yang terjadi di dalam sistem elektrokinetik ini memberikan hasil yang berbeda untuk mencapai keadaan potensial listrik sebesar 1 V/m, yaitu keadaan dimana kecepatan elektroosmotik dan kecepatan hidrolis sama dengan nol ($v_{e0} = v_h$). Pada saat gradien potensial mencapai 1 V/m maka mulai terjadilah proses elektroosmosis. Semakin besar kuat arus yang diberikan semakin cepat pula benda uji mencapai 1 V/m. Pada tiang tunggal yang dialiri kuat arus 320 mA, 640 mA, 1280 mA, dan 2560 mA dapat di capai 1 V/m dengan waktu 0 jam.. Semakin cepat benda uji mencapai 1 V/m, semakin lama pula proses elektroosmosis terjadi. Dengan kata lain air yang dialirkan pada kuat arus yang lebih besar akan lebih banyak

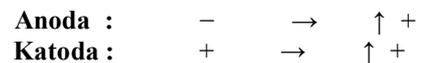


Gambar 7 Grafik tegangan listrik vs waktu rekapitulasi semua variabel

Menurut Mitchell (1993) kecepatan aliran elektroosmotik dipengaruhi oleh dua parameter yaitu koefisien permeabilitas, k_e ($m^2/V-s$) dan gradien potensial listrik, i_e (V/m). Gradien potensial sendiri dipengaruhi oleh besarnya tegangan listrik yang terjadi. Dari hasil penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 bahwa semakin besar arus yang diberikan semakin besar pula tegangan yang terjadi. Dengan demikian apabila dilihat dari tegangan listrik yang terjadi, dapat dikatakan bahwa semakin besar arus listrik yang diberikan semakin cepat pula aliran elektroosmotik

pH Tanah

Pada saat kedua kutub anoda dan katoda ditanam dan diberi beda potensial, maka akan terjadi proses elektrolisis dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Acar dan Alshawabkeh, 1993):



Reaksi-reaksi elektrolisis yang terjadi dipengaruhi medan listrik akan menghasilkan produk-produk elektrolisis dan reaksi-reaksi pengendalian elektrolisis pada elektroda, dimana reaksi oksidasi akan terjadi di anoda sedangkan di katoda akan terjadi reaksi reduksi. Reaksi oksidasi akan menghasilkan hidrogen yang menyebabkan sifat asam, sementara reaksi reduksi di katoda menghasilkan hidroksil yang meningkatkan pH atau menyebabkan sifat basa.

Ionisasi dapat terjadi lebih cepat di anoda di bandingkan dengan katoda dikarenakan anoda yang bersifat asam. Sifat asam menyebabkan nilai pH turun, sementara sebaliknya nilai pH akan naik dengan suasana basa yang ditunjukkan di katoda. Sampel pengujian diambil pada tiang tunggal dengan kuat arus 320 mA yang dialirkan selama 35 hari pada kedalaman 2,5 m. Pada penelitian elektrokinetik ini, pH awal tanah sebelum diberi perlakuan elektrokinetik adalah sebesar 6,11. Hasil pengukuran pH pada tanah (anoda dan katoda) untuk keseluruhan disajikan pada Tabel 1 dibawah ini:

Dengan demikian apabila dilihat dari tegangan gradien potensial listrik, i_e (V/m). Gradien potensial sendiri dipengaruhi oleh besarnya tegangan listrik yang terjadi. Dari hasil penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 bahwa semakin besar arus yang diberikan semakin besar pula tegangan yang terjadi. sebesar 6,11. Hasil pengukuran pH pada tanah (anoda dan katoda) untuk keseluruhan disajikan pada Tabel 1 dibawah ini:

. Tabel 1. Hasil pengujian pH tanah pada tiang tunggal yang dialiri arus 320 mA selama 35 hari

pH Tanah Sebelum Perlakuan Elektrokinetik	pH Tanah Sesudah Perlakuan Elektrokinetik	
	Anoda	Katoda
6,11	3,87	5,06
5,83	3,38	4,53
5,74	3,31	4,47

Permeabilitas Tanah Sebelum Perlakuan Elektrokinetik (cm/detik) (2,5-3m)	Permeabilitas Tanah Sesudah Perlakuan Elektrokinetik (cm/detik)		Kedalaman Tanah (m)
	Anoda	Katoda	
7.87E-07	5.21E-06	5.21E-06	0,5 - 1
	1.01E-05	1.01E-05	1,5 - 2
	1.67E-07	1.67E-07	2,5 - 3
	3.87E-07	3.87E-07	3,5 - 4

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa perlakuan elektrokinetik berpengaruh pada nilai pH baik di anoda maupun di katoda. Hal ini disebabkan oleh proses- proses yang terjadi selama proses elektrokinetik. Pada akhir pengujian, pH tanah di daerah anoda mengalami penurunan menjadi 3,87 sementara pH tanah di daerah katoda menjadi 5,06. Perubahan nilai pH pada daerah sekitar anoda dan katoda menunjukkan adanya perpindahan ion di dalam tanah. Sesuai dengan persamaan reaksi yang diungkapkan oleh Acar dan Alshawabkeh (1993), nilai pH akan turun pada daerah sekitar anoda akibat berubahnya senyawa air menjadi oksigen dan kation (H^+). Sementara pH di daerah sekitar katoda seharusnya mengalami kenaikan karena senyawa air yang merubah menjadi anion (OH^-). Akan tetapi pada percobaan ini, dapat dilihat pada Gambar 3.7 tegangan pada awal perlakuan bernilai negatif, sehingga pada awalnya elektroda bertukar peran. Oleh sebab itu, proses *ionisasi*, *dissosiasi*, *elektrolisis* dan reaksi-reaksi *elektrokimia* di dalam tanah yang tidak berlangsung sempurna.

Dari proses di atas, dapat dilihat bahwa saat diberi arus listrik searah (DC), air pada anoda akan berubah menjadi gas oksigen dan kation

(H^+). Gas oksigen ini akan bersenyawa dengan logam kutub positif. Sedangkan, kation akan bergerak menuju anoda sambil membawa sejumlah molekul air. Hal ini yang membuat air dapat mengalir dari anoda menuju katoda. Menurut Probstein dan Hick (1993) dan juga Azzam dan Oey (2001), variasi dari nilai pH di dalam tanah menyebabkan beberapa pengaruh diantaranya sifat-sifat permukaan partikel tanah seperti kapasitas tukar kation (CEC), besaran elektrokinetik, zeta potensial dan tingkat penyerapan spesies. Hal ini memberikan kontribusi kepada penguatan mekanis tanah, salah satunya yaitu peningkatan daya dukung tanah.

Permeabilitas

Sebagai data pendukung dilakukan pengujian permeabilitas pada tanah sebelum dan sesudah perlakuan elektrokinetik. Sampel pengujian diambil di sekitaran tiang tunggal yang dialiri kuat arus 320 mA selama 35 hari pada kedalaman 2,5m. Adapun hasil pengujian permeabilitas tanah disajikan pada Tabel 2 dibawah ini:

Dari data di atas dapat dilihat bahwa perlakuan elektrokinetik mempengaruhi nilai permeabilitas tanah baik di anoda maupun di katoda. Pada akhir pengujian, koefisien permeabilitas tanah di anoda dan katoda menjadi semakin kecil dibandingkan keadaan awal. Hal ini menunjukkan bahwa kepadatan tanah meningkat sehingga makin rendah koefisien permeabilitasnya mengakibatkan kemampuan air untuk mengalir pada rongga-rongga (pori) dalam tanah semakin lambat. Semakin kecil koefisien permeabilitas tanah dipengaruhi oleh bergeraknya air pori didalam tanah selama proses elektrokinetik. Melalui proses elektrokinetik ini, akan terjadi pergerakan ion-ion di dalam tanah berupa *cementing agent* sehingga reaksi *precipitation* dapat terjadi dan menimbulkan pengaruh sementasi, koagulasi dan pada akhirnya meningkatkan daya dukung tanah

Penampakan Visual

Tiang-tiang pancang yang telah dilakukan uji pembebanan akan dicabut. Ketika pencabutan tiang-tiang dapat diamati kondisi tanah yang melekat pada tiang secara visual. Dapat dilihat pada Gambar 8 tanah pada sekitaran tiang (anoda) setelah perlakuan elektrokinetik mengalami penggumpalan ketika dicabut. Penggumpalan ini diakibatkan oleh sementasi

dan koagulasi pada tanah akibat fenomena elektrokinetik sesuai yang telah dinyatakan pada bagian sebelumnya.



Gambar 8. Penampakan Visual Tanah di Sekitar Tiang Tunggal (Anoda) Setelah Perlakuan Elektrokinetik

Selain itu dapat dilihat pula pada Gambar 9 bahwa baja tulangan yang berlaku sebagai katoda tampak memiliki kondisi lebih basah setelah dilakukan perlakuan elektrokinetik. Hal ini disebabkan oleh perpindahan air dari anoda menuju katoda, sehingga kadar air disekitaran lebih tinggi.



Gambar 9. Penampakan Visual Tanah di Sekitar Tulangan Baja (Katoda) Setelah Perlakuan Elektrokinetik



Gambar 10. Penampakan Visual Tiang Baja (Anoda) Setelah Perlakuan Elektrokinetik

Dari proses kimia yang dibahas pada bagian sebelumnya, dapat dilihat bahwa saat diberi arus listrik searah (DC), air pada anoda akan berubah menjadi gas oksigen dan kation (H^+). Gas oksigen ini akan bersenyawa dengan logam kutub positif dan menyebabkan karat pada anoda. Hal ini dibuktikan dengan penampakan visual tiang baja (anoda) yang berkarat setelah perlakuan elektrokinetik.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan dan pemaparan data dari beberapa bab sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar kuat arus listrik yang dialirkan, semakin besar pula beda potensialnya, serta dapat menunjukkan semakin cepat proses elektroosmotik yang terjadi pada tiang tunggal.
2. Dari hasil penelitian daya dukung (Q_u) tiang tunggal setelah perlakuan elektrokinetik memiliki daya dukung yang lebih besar daripada daya dukung (Q_u) tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik.
3. Setelah perlakuan elektrokinetik, daya dukung (Q_u) tiang tunggal dibandingkan dengan tiang tunggal tanpa perlakuan pada waktu tunggu yang sama (7 hari) untuk pemberian kuat arus 320 mA, 640 mA, 1280 mA, dan 2560 mA, masing-masing mengalami kenaikan sebesar 14.6%; 24.3%; 56.6%; dan 90.3%.
4. Dari hasil pengujian lapangan pada tiang tunggal yang dialiri arus listrik mampu memperbaiki kondisi tanah lunak sehingga dapat menaikkan daya dukung tiang tunggal yang cukup signifikan di bandingkan tiang tunggal tanpa perlakuan.
5. Dari hasil *loading test*, daya dukung tiang tunggal (Q_u) dengan perlakuan elektrokinetik memiliki nilai yang mendekati daya dukung (Q_u) awal dari data sondir pada waktu tunggu 7 hari.
6. Sampel tanah di sekitar elektroda setelah perlakuan elektrokinetik menunjukkan bahwa parameter-parameter tanah yang menggambarkan terjadinya proses elektrokinetik mengalami perubahan, antara lain:
 - pH tanah pada daerah anoda lebih kecil daripada tanah di daerah katoda dan tanah sebelum perlakuan elektrokinetik akibat perpindahan ion (elektromigrasi).
 - Permeabilitas (k) tanah pada daerah anoda dan katoda setelah elektrokinetik lebih kecil daripada tanah sebelum perlakuan elektrokinetik.

- Kuat geser tanah *undrained* (S_u) tanah pada daerah anoda lebih besar daripada tanah sebelum perlakuan elektrokinetik.
 - Secara visual tampak bahwa perlakuan elektrokinetik memberi pengaruh langsung pada tanah di sekitar tiang, yakni: penggumpalan sekitar tiang (anoda), air yang berlebih pada katoda, dan karat pada tiang.
7. Metode elektrokinetik yang dilakukan dengan dimensi tiang tunggal yang kecil di lapangan ini dapat dikembangkan dengan dimensi tiang tunggal yang lebih besar sebagai alternatif untuk solusi metode stabilisasi dan perkuatan tanah terhadap suatu struktur bangunan.

Saran

1. Pemilihan titik lokasi penelitian yang tepat sehingga metode penelitian yang di gunakan dapat sesuai dengan rencana.
2. Diperhitungkan beban rencana *loading test* sebaik-baiknya karena akan digunakan sebagai pembebanan didalam *loading test* dan beban kontra sebagai penahan *jack hydraulic*.
3. Ketelitian sangat diperlukan dalam penelitian ini agar didapatkan hasil yang sesuai dengan hasil yang diinginkan baik ketelitian alat dan proses pengerjaan sampel.
4. Perlu dilakukan pengujian lanjut terkait dengan kuat arus listrik dan waktu yang lebih variatif untuk dipelajari pengaruhnya terhadap daya dukung tiang tunggal.
5. Diperlukan kajian dan penelitian lanjutan untuk dimensi tiang tunggal yang lebih besar untuk dipelajari pengaruhnya menggunakan metode elektrokinetik.
6. Variasi jarak antar elektroda juga dapat diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan pengaruhnya terhadap daya dukung tiang tunggal pada perlakuan elektrokinetik.

DAFTAR PUSTAKA

Das, Braja M. 2006. *Principles of Geotechnical Engineering Seventh Edition*. Stamford: Cengage Learning.

Dika. 2009. *Elektrorestorasi Tanah Lunak Pontianak yang Terkontaminasi Logam Berat*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Pontianak.

Hardiyatmo, Hary Christandy. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Alaydi, Khaled. 2016. *The Application of Electroosmosis in Clay Improvement*. Gothenburg: Chalmers University of Technology.

Agustina. 2013. *Analisis Kombinasi Pre-loading Mekanis Dan Elektrokinetis Terhadap Pemampatan Tanah Lunak Pontianak*.

Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Azami, Fikri Irfanil. 2017. *Kajian Efisiensi Kelompok Tiang Dengan Konfigurasi 3x3*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Hausmann, Manfred R. 1990. *Engineering Principles of Ground Modification*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

Kowalkar, Susheel R. 2009. *Increasing Pile Capacity and Set-up in Clay by Elektrokinetics*. ETD Archive. Paper 167.

Lim, Aswin. 2014. *Evaluasi Formula Penentuan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Data CPT Berdasarkan Metode Langsung (Direct Method)*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.

Mohamedelhasan et al. 2012. *Electrokinetic Treatment for Model Caissons with Increasing Dimensions*. Thunder Bay: Department of Civil Engineering, Lakehead University.

Rahardjo, Paulus P. 2013. *Manual Pondasi Tiang Edisi 4*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.

Rustamaji, Raden Mas. 2007. *Ground Improvement Electro Chemical Injection*. Aachen: RWTH Aachen University.

Wirdayanti, Ni Nengah. 2010. *Studi Eksperimental Elektromediasi Kontaminasi Logam Berat Pada Tanah*. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Pontianak.

Yunata, Vivi Aurora. 2009. *Elektrorestorasi Tanah Lempung Capkala yang Terkontaminasi oleh Logam Berat*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Pontianak.

Sepriawan, Muhar. 2012. *Studi Pemampatan Tanah Lunak Pontianak dengan pengaruh Gejala Elektroosmosis*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Tim Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung. 2002. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak Edisi Pertama*. Lembaga: Bandung.

Utomo, Marsudi. 2018. *Analisa Pengaruh Waktu Pada Fenomena Elektrokinetik Terhadap Daya Dukung Tiang Tunggal*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.