

PERILAKU DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL TERHADAP WAKTU DIBAWAH PENGARUH MEDAN LISTRIK DENGAN KUAT ARUS I : 320 mA

David Michael Sinambela¹, Rustamaji², Eka Priadi²

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

²Dosen Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

E-mail: davidmichael1018@yahoo.com

ABSTRAK

Permasalahan terhadap kestabilan tanah dalam suatu fondasi struktur biasanya rendah, hal ini dikarenakan daya dukung tanah dan besarnya penurunan yang terjadi. Oleh karena itu, dalam perbaikan tanah lunak untuk meningkatkan daya dukung tanah diaplikasikan metode elektrokinetik. Metode ini dilakukan dengan memberikan tegangan beda potensial, kutub positif pada anoda dan kutub negatif pada katoda yang ditanam di tanah untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil daya dukung tiang pancang sebelum dan sesudah proses elektrokinetik agar diketahui berapa besar pengaruh yang terjadi dari pemberian arus listrik yang berbeda-beda kepada tiang pancang baja tunggal. Secara umum, penelitian ini merupakan studi lapangan dengan menggunakan data loading test tiang tunggal dan membandingkan daya dukung tiang tanpa perlakuan dengan tiang yang diberi perlakuan. Penelitian ini dilakukan dengan memberi arus 320mA pada tiang dengan waktu tunggu 15, 21, 28 dan 35 hari. Berdasarkan analisa data dari hasil penelitian, pemberian kuat arus listrik pada perlakuan elektrokinetik mampu meningkatkan daya dukung tiang pancang hingga 28,6% dengan dialiri listrik searah dengan kuat arus 320 mA selama 35 hari. Hal ini menunjukkan bahwa metode elektrokinetik ini dapat dijadikan sebagai alternatif perbaikan tanah lunak yang inovatif dan menjanjikan.

Kata kunci: elektrokinetik, tanah lunak, tegangan, kuat arus, loading test, daya dukung.

ABSTRACT

The common problems of soil stability that usually founded in structure foundation are the lowness of soil bearing capacity and the magnitude of soil settlement. The application of electrokinetic method is one of such ways for soft soil remediation. The method is implemented by giving voltages to electrodes, which positive charge at anode and negative charge at cathode, that are planted in the soil to improve the geotechnical characteristics of soft soil. The purpose of this research is to get the results before and after the electrokinetic process so it could showed the influences which could happened in this process with different electric currents that given to single steel piles. Generally, this research is a field study using single pile load test data and comparing the bearing capacity of piles between treatment and non-treatment result. This research is applied by giving 320mA of currents to the pile with 15, 21, 28, and 35 days of waiting time. 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 45% by assigning electrical direct current of 320 mA for 35 days. This suggests that the electrokinetic method can be implemented as an innovative and promising soft soil improvement.

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

I. PENDAHULUAN

Permasalahan yang biasa terjadi pada tanah lunak umumnya adalah rendahnya daya dukung tanah tersebut dan banyaknya kadar air serta besarnya penurunan yang terjadi. Tanah lunak memiliki kelemahan dalam kekakuan, daya dukung, kekuatan dan daya penghantar hidrolis.

Tanah lunak juga memiliki potensi kembang susut dan potensi keruntuhan.

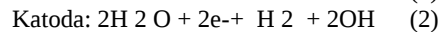
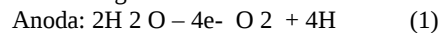
Masalah-masalah tersebut bisa dicari solusinya dengan metode yang efektif dan ekonomis untuk menaikkan daya dukung tanah. Solusi untuk perbaikan tanah tersebut biasanya adalah dengan memasang vertical drain

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. Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses elektrokinetik dijelaskan pada Tabel 1

Tabel 1 Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Proses Elektrokinetik

Faktor-faktor	Karakteristik
Kondisi tanah	Ukuran butiran tanah dan tipe mineral
	• Efektif bila 30% atau lebih ukuran butiran lebih kecil dari 2 μ m • Lebih efektif pada <i>silty clays</i> dengan moderate plasticity (<i>kaolinite</i> dan <i>illite</i>) dibandingkan pada <i>high plasticity clays</i>
	Kadar garam
pH	Tidak efektif pada tanah yang memiliki kadar garam yang tinggi
	• Tidak efektif pada pH yang rendah ($\text{pH} < 6$) • Sangat efektif pada pH yang tinggi ($\text{pH} > 9$)
<i>Current density</i>	Bervariasi tergantung pada karakteristik geoteknik tanah
Sistem	Macam elektrode
	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/>

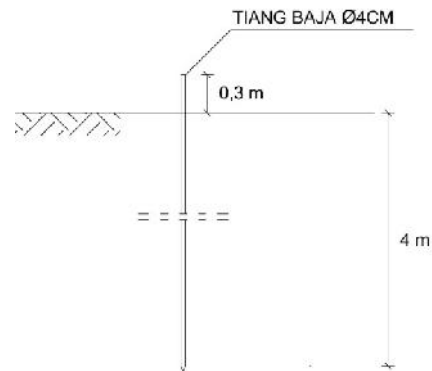
Metode elektrokinetik sebagai alternatif perbaikan tanah memiliki beberapa kelebihan, seperti dapat diterapkan pada tanah yang memiliki permeabilitas rendah, efektif untuk tanah yang memiliki butiran sangat halus, dan derajat kontrol arah aliran air pori tinggi

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).



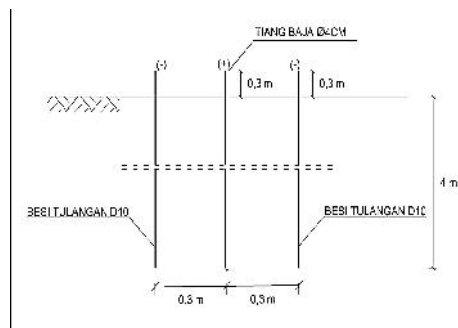
Gambar 1. Tiang pancang

Adapun peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

- Peralatan pemancangan tiang.
- Peralatan untuk uji pembebanan tiang (*loading test*).

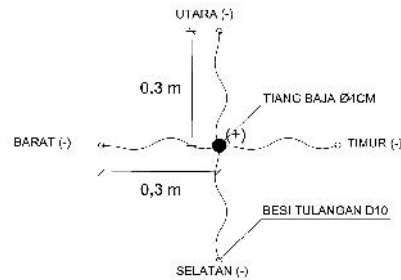
Peralatan untuk perlakuan elektrokinetik, berupa: *DC Power Supply*, kabel listrik, multimeter, dan jepit buaya. Secara umum penelitian ini merupakan studi lapangan menggunakan data *loading test* tiang tunggal hasil penelitian di lapangan dengan membandingkan tiang tanpa perlakuan yang ditinggalkan 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) Penancapan 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 ditinggalkan 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.) Penancapan tiang fondasi untuk *loading test*.
 - 4.) Pengaliran listrik (elektrokinetik).
 - 5.) Persiapan *loading test*.



Gambar 2. Sketsa 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

IV. 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.

Dari 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

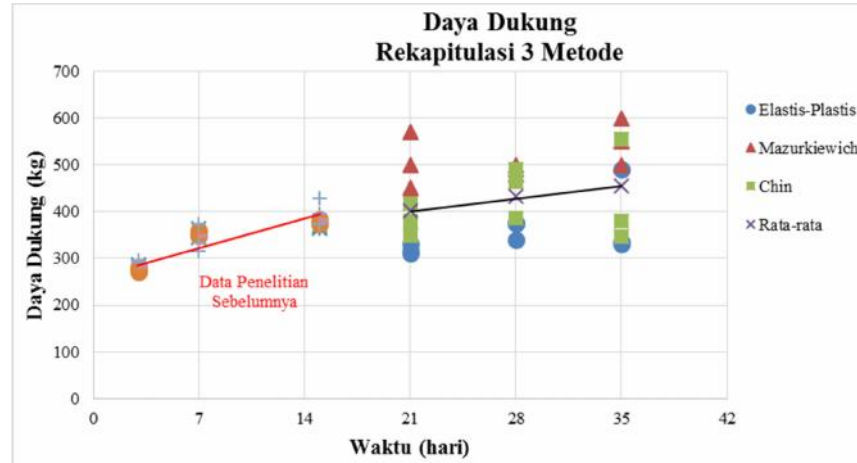
Daya Dukung Tiang Tanpa Perlakuan Elektrokinetik

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 tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik memiliki kecenderungan semakin tinggi sebanding

dengan lamanya waktu tiang pancang dидiamkan. Adapun rata-rata peningkatan daya dukung tiang yaitu untuk waktu tunggu 21 hari sebesar 402,126 kg, waktu tunggu 28 hari sebesar 433,217 kg, dan waktu tunggu 35 hari sebesar 454,062 kg. Peningkatan daya dukung ini dipengaruhi oleh

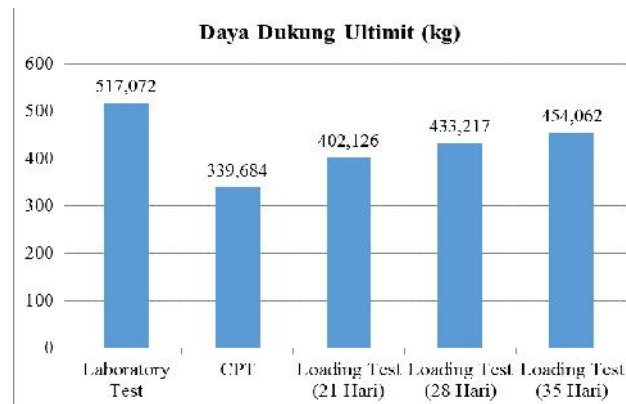
menurunnya tekanan air pori positif secara alami. Pada awal pemancangan tekanan air pori akan meningkat dan setelah dibiarkan pada jangka waktu tertentu tekanan air pori positif akan secara perlahan turun secara alami seiring dengan mengalirnya air akibat gravitasi.



Gambar 4. Grafik rekapitulasi hasil interpretasi 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. Besarnya daya dukung untuk setiap metode secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 5 Grafik Daya Dukung Rencana Awal Dan *Loading Test*

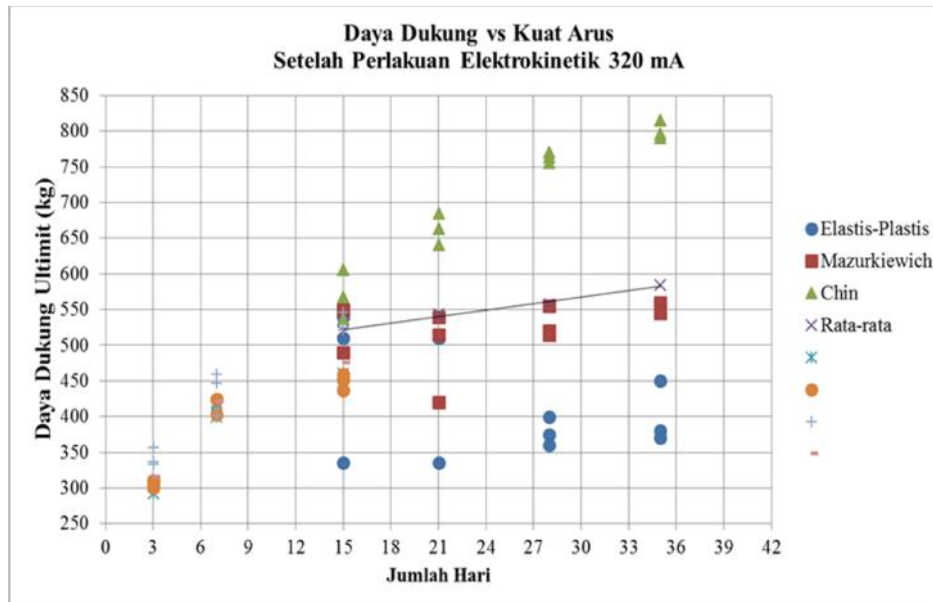
Daya Dukung Tiang Setelah Perlakuan Elektrokinetik

Sama seperti tiang tanpa perlakuan, tiang yang akan diberi perlakuan elektrokinetik akan dipancang terlebih dahulu. Setelah itu, langsung dialiri listrik searah dengan variable listrik 320 mA selama 15, 21, 28, dan 35 hari.

Selanjutnya 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 yang diberikan. Adapun rata-rata daya dukung tiang yaitu untuk kuat arus 320 mA 15 hari sebesar 520,636 kg, 21 hari sebesar 553,303 kg, 28 hari sebesar 557,245 kg, dan yang paling lama 35 hari sebesar 584,106 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 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 daya dukung tiang dengan variabel kuat arus 320 mA, dengan variabel hari 15, 21, 28, dan 35 hari masing-masing mengalami kenaikan sebesar 16,1%; 21,8%; 22,7%; dan 28,6%. Peningkatan daya dukung ini dipengaruhi oleh menurunnya tekanan air pori positif akibat perlakuan elektrokinetik. Pergerakan air mengalir menjauhi tiang ini dikenal dengan fenomena elektroosmosis dimana air mengalir dari anoda (tiang) menuju katoda (besi tulangan). Dari data yang didapat kenaikan persentase dari 21 hari ke 28

hari tidak seperti pada kenaikan di variabel hari lain, hal itu terjadi dikarenakan adanya faktor diluar teori elektrokinetik, dimana pada pemancangan tiang 28 hari tidak sama dengan tiang hari yang lain, serta terjadi faktor lain dimana lokasi tiang 28 hari terendam banjir dan visual tanah yang ada disekitar tiang pancang lebih basah dan sehingga membuat prinsip elektrokinetik tidak bekerja maksimal akan tetapi hasil yang didapat tetap naik.

Tegangan Listrik

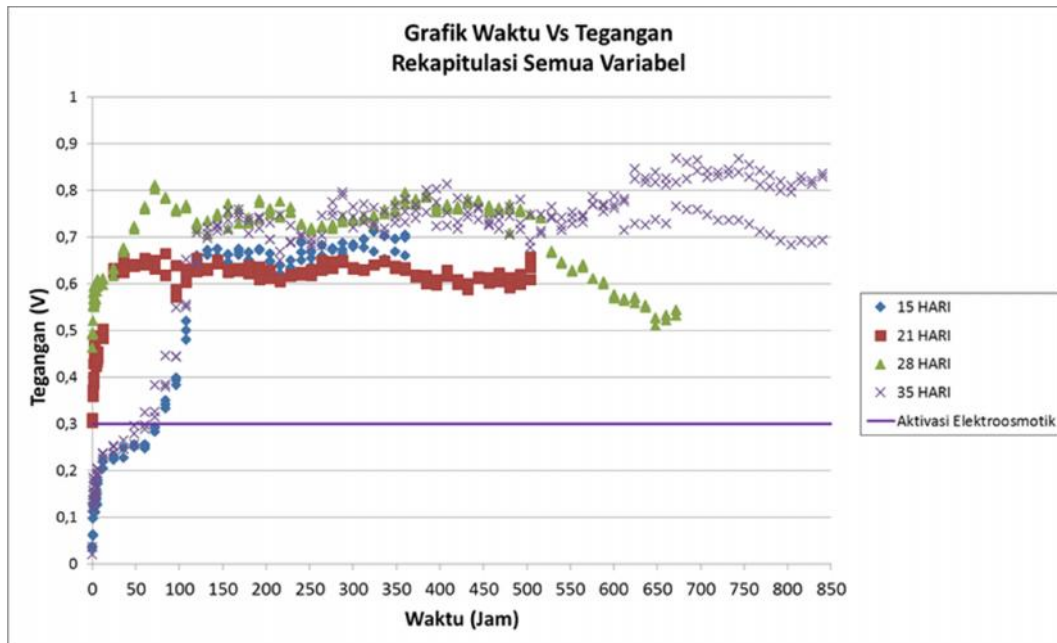
Pada bagian sebelumnya, dijelaskan bahwa semakin besar kuat arus yang diberikan maka dukung tiang cenderung semakin meningkat pula. Apabila dikaitkan dengan tegangan listrik yang dihasilkan untuk masing-masing variabel kuat arus, kenaikan daya dukung tiang tidak terlepas dari semakin besarnya tegangan 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

Parameter Pendukung

Pada penelitian dengan metode elektrokinetik ini digunakan arus sebesar 320 mA, yang dialirkan selama 15, 21, 28, dan 35 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*).

elektrokinetik ini memberikan hasil yang berbeda untuk mencapai keadaan potensial listrik sebesar 1 V/m, yaitu keadaan dimana kecepatan elektroosmotik dan kecepatan hidrolik sama dengan nol ($v_{eo} = v_h$). 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 yang

dialiri kuat arus 320 mA, pada percobaan 15 hari dicapai pada waktu 84 jam. Sedangkan untuk 21, 28, dan 35 hari secara berurutan memerlukan waktu 0 jam, 0 jam, dan 60 jam untuk mencapai 1 V/m. 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.

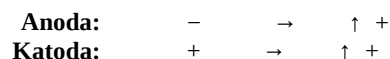


Gambar 7 Grafik tegangan listrik vs waktu rekapitulasi semua variabel

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 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 3.1 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

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

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 menunjukan 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 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

Permeabilitas Tanah Sebelum Perlakuan Elektrokinetik (cm/detik) (2,5-3m)	Permeabilitas Tanah Setelah Perlakuan	
	Anoda	Katoda
7,87E-07	6,06E-07	6,06E-07

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 pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil *loading test*, daya dukung tiang tunggal (Q_u) tanpa perlakuan memiliki nilai yang lebih dari daya dukung (Q_u) awal dari data sondir pada waktu tunggu 21 hari.
2. 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 tanpa perlakuan pada waktu tunggu yang sama (35 hari) untuk pemberian kuat arus 320 mA selama 15, 21, 28, dan 35 hari masing-masing mengalami kenaikan sebesar 16,1%; 21,8%; 22,7%; dan 28,6%.
4. Semakin lama waktu yang diberikan, semakin besar pula beda potensialnya, dan menunjukkan semakin cepat proses elektroosmotik yang terjadi.
5. Sampel tanah di sekitar elektroda setelah perlakuan elektrokinetik menunjukkan bahwa parameter-parameter tanah yang menggambarkan terjadinya proses elektrokinetik mengalami perubahan, antara lain:
 - a. pH tanah pada daerah anoda lebih kecil daripada tanah di daerah katoda dan tanah sebelum perlakuan elektrokinetik akibat perpindahan ion (elektromigrasi).
 - b. Permeabilitas (k) tanah pada daerah anoda dan katoda setelah elektrokinetik lebih kecil daripada tanah sebelum perlakuan elektrokinetik.
 - c. 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.
6. Metode elektrokinetik yang dilakukan dengan dimensi tiang yang kecil di

lapangan ini dapat dikembangkan dengan dimensi tiang besar sebagai alternatif untuk solusi metode stabilisasi dan perkuatan tanah.

Saran

Metode elektrokinetik yang dilakukan dengan dimensi tiang yang kecil di lapangan ini dapat dikembangkan dengan dimensi tiang besar sebagai alternatif untuk solusi metode stabilisasi dan perkuatan tanah.

1. Merencanakan penelitian dengan sebaik-baiknya, karena kondisi lokasi penelitiannya pada tanah lunak, disarankan untuk melakukan penelitian di lapangan lihat kondisi ketinggian tanah apakah terendam banjir jika hujan atau tidak, dan lebih baik dilakukan pada saat musim panas.
2. Beban rencana *loading test* diperhitungkan sebaik-baiknya karena akan digunakan sebagai pembebanan didalam *loading test* dan beban kontra sebagai penahan *jack hydraulic*.
3. Diharapkan lebih teliti dalam penelitian ini agar didapatkan hasil yang sesuai dengan hasil yang diinginkan baik ketelitian dalam mengoperasikan alat dan pada saat proses pengerjaan sampel.

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.
- Mohamedelhassan 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.