

ANALISA PENGARUH KUAT ARUS PADA FENOMENA ELEKTROKINETIK TERHADAP DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL

G. Riustopo¹⁾, R. M. Rustamaji²⁾, V. Bachtiar²⁾
vanlex_93@yahoo.com

Abstrak

Fondasi tiang pancang yang terletak di tanah lunak pada umumnya menghadapi permasalahan serius yang berkaitan dengan rendahnya daya dukung tanah dan besarnya penurunan yang terjadi. Salah satu metode perbaikan tanah lunak yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak dengan cepat adalah metode elektrokinetik. Metode ini dilakukan dengan memberikan tegangan pada elektroda yang ditanam di tanah untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa daya dukung tiang pancang sebelum dan sesudah proses elektrokinetik guna mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan dari pemberian variabel kuat arus pada fenomena elektroosmosis terhadap daya dukung tiang pancang baja tunggal. Secara umum penelitian ini merupakan studi lapangan menggunakan data loading test tiang tunggal hasil penelitian di lapangan dengan membandingkan daya dukung tiang tanpa perlakuan dengan tiang yang dialiri listrik searah. Berdasarkan analisa data dari hasil penelitian, pemberian kuat arus listrik pada perlakuan elektrokinetik mampu meningkatkan daya dukung tiang pancang hingga 45% dengan dialiri listrik searah dengan kuat arus 320 mA selama 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa metode elektrokinetik ini dapat dijadikan sebagai alternatif perbaikan tanah lunak yang inovatif dan menjanjikan.

Kata-kata kunci: *fenomena elektrokinetik, fenomena elektroosmosis*

1. PENDAHULUAN

Saat ini, jumlah desain struktur geoteknik yang kompleks (contoh: timbunan, fondasi, dinding penahan tanah, konstruksi jalan, dan lain-lain) semakin berkembang hingga ke area yang memiliki kualitas tanah yang buruk seperti tanah lunak di Pontianak.

Suatu fondasi 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 fondasi tersebut adalah menghindari daerah tersebut, melakukan desain perencanaan struktur yang sesuai (pada kasus ini adalah dengan fondasi tiang), membuang dan mengganti tanah tersebut, atau melakukan modifikasi pada tanah *existing*. Dengan keterbatasan

lahan konstruksi dan sumber galian. Alternatif perbaikan tanah dan penggunaan fondasi tiang lebih sering menjadi pilihan terbaik secara teknis maupun ekonomis (Hausmann, 1990).

Di lain sisi tanah lunak di Pontianak didominasi oleh tanah lempung yang memiliki butiran halus. Sifat-sifat tanah lunak Pontianak yang kurang menguntungkan banyak dipengaruhi oleh air. Semakin rendah kadar air maka daya dukung tanah semakin besar. Dengan demikian, salah satu cara untuk menstabilisasi tanah lunak adalah mengeluarkan air pori dari tanah tersebut dengan modifikasi hidrolis. Untuk jenis tanah tersebut proses *dewatering* dikaitkan dengan konsolidasi dengan *preloading* atau elektroosmosis.

Elektrokinetik adalah salah satu metode perbaikan tanah lunak yang

1) Alumni Prodi Teknik Sipil FT. UNTAN

2) Dosen Prodi Teknik Sipil FT. UNTAN

diaplikasikan untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak. Metode ini dilakukan dengan memberikan tegangan pada elektroda yang ditanam di tanah untuk memperbaiki karakteristik geoteknik dari tanah lunak. Pada saat dua kutub elektroda (anoda dan katoda) ditanam di dalam tanah dan dialiri dengan arus listrik searah (*DC*), maka akan terjadi fenomena elektroosmosis. Menurut Yeung (1994), fenomena elektroosmosis adalah salah satu dari fenomena elektrokinetik dimana air di dalam tanah akan mengalir dari anoda ke katoda.

Disebutkan oleh Johnston (1978), elektroosmosis dapat digunakan untuk mengubah tahanan selimut/friksi pada tiang baja di tanah lempung. Apabila tiang berperan sebagai anoda, tekanan pori negatif meningkat di sekitar tiang, meningkatkan tahanan selimut/friksi demikian pula dengan kapasitas tiang tersebut. Untuk mendapatkan perubahan permanen pada tiang friksi perlu dilakukan elektroosmosis pada jangka waktu tertentu.

Telah dibuktikan dalam skala laboratorium, bahwa fenomena elektroosmosis memberi pengaruh pada tanah, mempercepat proses konsolidasi dan meningkatkan kuat geser tanah. Dalam penelitiannya, Sepriawan (2012) menyarankan untuk diadakan penelitian lebih lanjut tentang metode elektroosmosis dengan mengalirkan arus listrik yang bervariasi guna mendapatkan kuat arus yang optimum dalam proses elektroosmosis. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian terhadap pengaruh pemberian variabel kuat arus pada fenomena elektroosmosis terhadap daya dukung tiang tunggal pada tanah lunak di Pontianak.

Penelitian ini akan dilakukan pada tanah asli dan tiang model sehingga akan mendapatkan hasil yang lebih mendekati kondisi asli. Dari penelitian ini

diharapkan dapat diselidiki pengaruh pemberian variabel kuat arus pada jangka waktu tertentu terhadap peningkatan tahanan dari fondasi tiang baja di tanah lempung setelah dilakukan proses elektrokinetik.

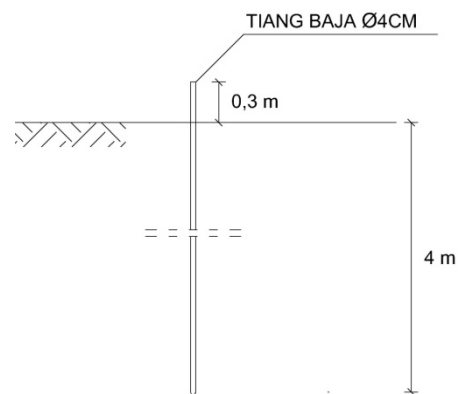
2. METODE PENELITIAN

Bahan atau sampel yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

- Sampel tanah berupa tanah lempung lunak kondisi asli (tidak terganggu) berlokasi di antara laboratorium Tenaga Tegangan Listrik dan ruangan 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.



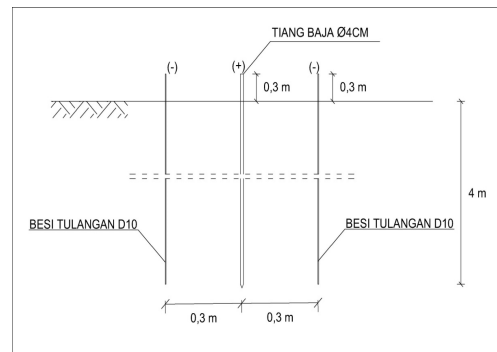
Gambar 1. Tiang pancang

Secara umum penelitian ini merupakan studi lapangan menggunakan data *loading test* tiang tunggal hasil

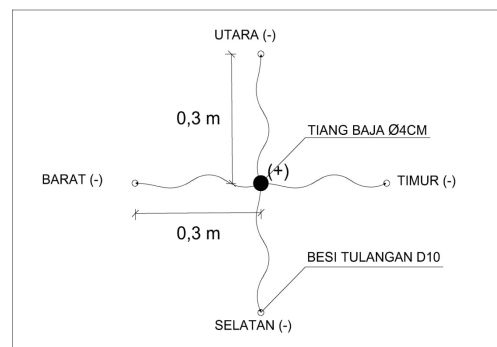
penelitian di lapangan dengan membandingkan tiang tanpa perlakuan yang ditinggalkan selama 3 hari, 7 hari, dan 15 hari dengan tiang yang dialiri listrik 20 mA, 40 mA, dan 80 mA, 160 mA, dan 320 mA selama 7 hari. Hasil *loading test* tiang akan dihubungkan dengan perhitungan dari daya dukung tiang tunggal 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, *undrained shear strenght*, 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 lokasi penelitian.
 - 3) Pemancangan tiang baja berdiameter 4 cm dengan kedalaman 4 m.
 - 4) Persiapan *loading test*.
 - 5) *Loading test* dilakukan dengan metode *Quick Maintained Loading Test* secara bertahap.
 - 6) Tiang tanpa perlakuan ditinggalkan selama 3 hari, 7 hari, dan 15 hari. Masing-masing diuji 3 sampel.
- b) Tiang dengan 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 lokasi penelitian.

- 3) Pemancangan tiang baja berdiameter 4 cm dengan kedalaman 4 m .
- 4) Pengaliran listrik (elektrokinetik).
- 5) Persiapan *loading test*.
- 6) *Loading test* dilakukan dengan metode *Quick Maintained Loading Test* secara bertahap.
- 7) Tiang dengan perlakuan elektrokinetik diuji dengan dialiri variabel kuat arus 20 mA, 40 mA, 80 mA, 160 mA, dan 320 mA selama 7 hari.



Gambar 2. Skets pemancangan



Gambar 3. Tampak atas

3. 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

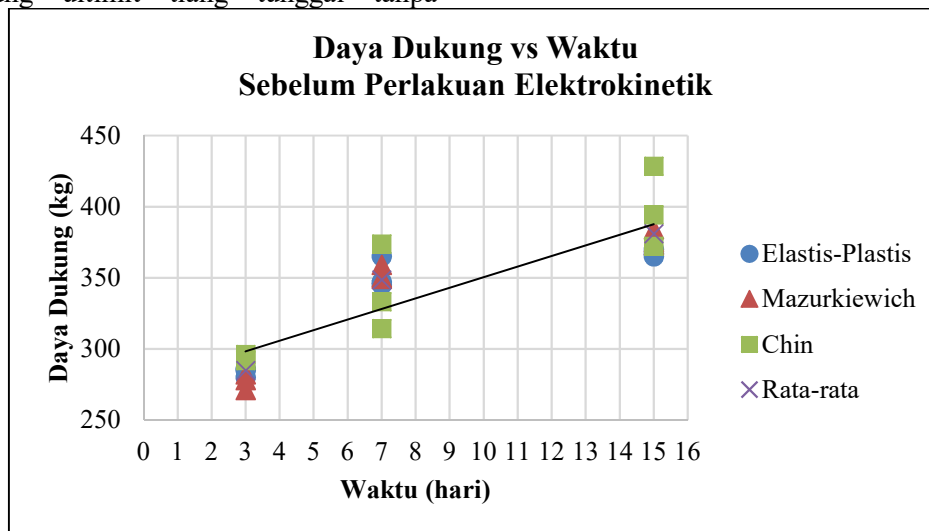
3.1. Daya Dukung Tiang Tanpa Perlakuan Elektrokinetik

Tahap pertama dalam pengerjaan uji pembebanan yang dilakukan yaitu pemancangan tiang fondasi. Sebelum fondasi dibebani, fondasi 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 3, 7, dan 15 hari.

Rekapitulasi hasil interpretasi daya dukung ultimit tiang tunggal tanpa

perlakuan elektrokinetik dapat dilihat pada Gambar 4.

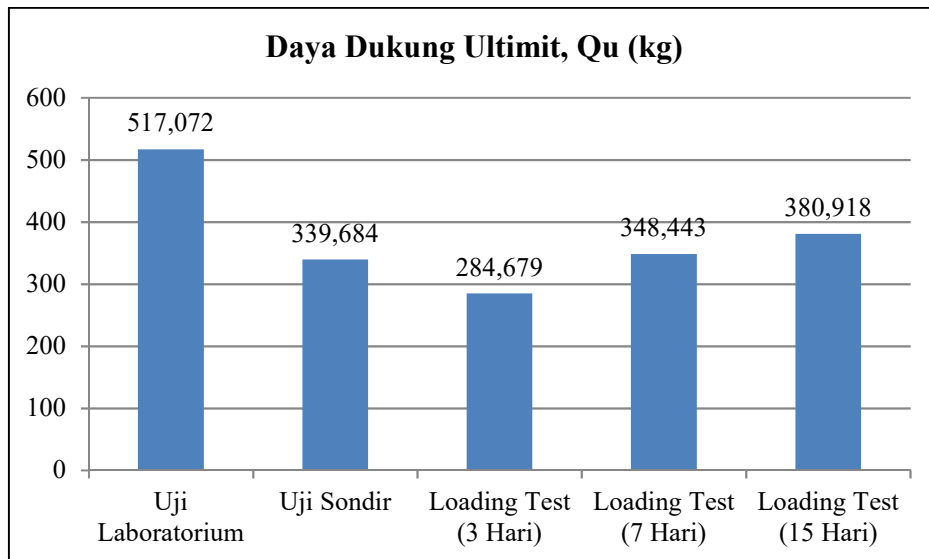
Berdasarkan hasil interpretasi dengan menggunakan berbagai metode, dapat dilihat bahwa daya dukung tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik memiliki kecenderungan semakin tinggi sebanding dengan lamanya waktu tiang pancang didiamkan. Adapun rata-rata peningkatan daya dukung tiang yaitu untuk waktu tunggu 3 hari sebesar 284,679 kg, waktu tunggu 7 hari sebesar 348,443 kg, dan waktu tunggu 15 hari sebesar 380,918 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 7 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*

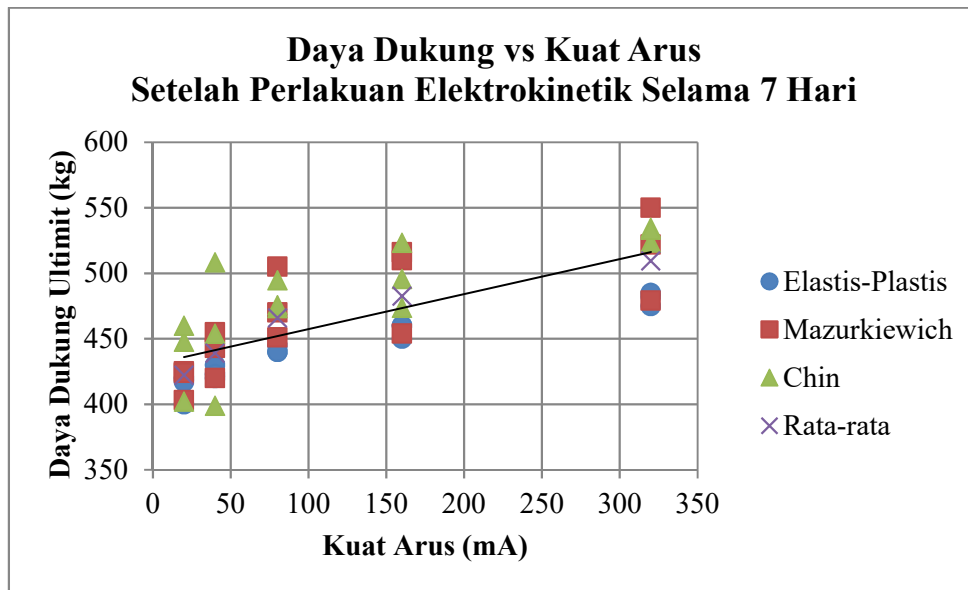
3.2. Daya Dukung Tiang Setelah Perlakuan Elektrokinetik

Sama seperti tiang tanpa perlakuan, tiang yang akan diberi perlakuan elektrokinetik akan dipancang terlebih dahulu. Setelah itu, langsung dialiri listrik searah dengan variabel 20 mA, 40 mA, 80 mA, 160 mA, dan 320 mA. Setelah dialiri arus listrik searah selama 7 hari, 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 yang diberikan. Adapun rata-rata daya dukung tiang yaitu untuk kuat arus 20 mA hari sebesar 422,049 kg, kuat arus 40 mA sebesar 439,055 kg, kuat arus 80 mA sebesar 466,017 kg, kuat arus 160 mA sebesar 482,450, dan kuat arus 320 mA sebesar 509,349 kg.

Rekapitulasi hasil interpretasi daya dukung ultimit tiang tunggal tanpa perlakuan elektrokinetik dapat dilihat pada Gambar 6.



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

Apabila dibandingkan dengan tiang tanpa perlakuan elektrokinetik untuk waktu tunggu yang sama dengan lama penyetruman tiang yang itu 7 hari, daya dukung tiang tanpa perlakuan elektrokinetik hanya sebesar 348,443 kg. Setiap daya dukung tiang dengan variabel kuat arus 20 mA, 40 mA, 80 mA, 160 mA, dan 320 mA masing-masing mengalami kenaikan sebesar 21,1%; 26,0%; 33,7%; 38,5%; dan 45,2%. 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 setelah dialiri listrik searah selama 7 hari saja lebih tinggi dibandingkan dengan tiang tanpa perlakuan elektrokinetik meskipun tiang

didiamkan selama 15 hari hanya mencapai daya dukung 380,918 kg.

3.4. Parameter Pendukung

Pada penelitian dengan metode elektrokinetik ini digunakan arus sebesar 20 mA, 40 mA, 80 mA, 160 mA, dan 320 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*).

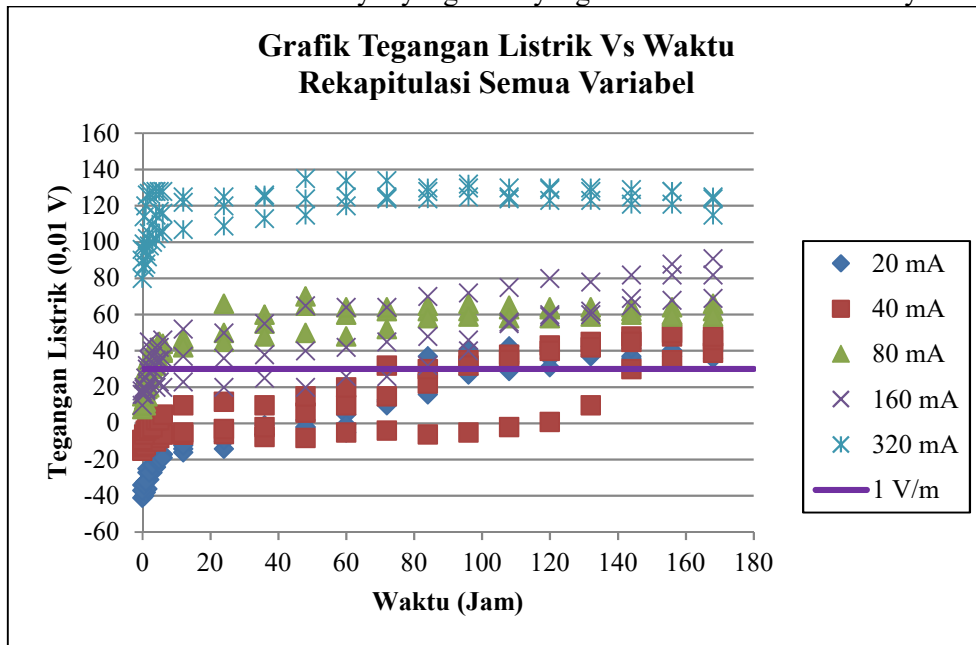
3.4.1. Tegangan Listrik

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 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 20 mA, 1 V/m dicapai pada waktu 96 jam. Sedangkan untuk kuat arus 40 mA, 80 mA, 160 mA, dan 320 mA secara berurutan memerlukan waktu 132 jam, 3 jam, 2 jam, dan 0 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

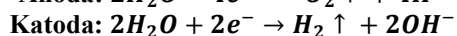
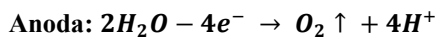
Menurut Mitchell (1993) kecepatan aliran elektroosmotik

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 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.

3.4.2. 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 Alshwabkeh, 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 20 mA yang dialirkan selama 7 hari pada kedalaman 2 m. Pada penelitian elektrokinetik ini, pH awal tanah sebelum diberi perlakuan elektrokinetik adalah

sebesar 6,37. Hasil pengukuran pH pada tanah (anoda dan katoda) untuk keseluruhan disajikan pada Tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 1. Hasil pengujian pH tanah pada tiang tunggal yang dialiri arus 20 mA selama 7 hari

pH Tanah Sebelum Perlakuan Elektrokinetik	pH Tanah Sesudah Perlakuan Elektrokinetik	
	Anoda	Katoda
6,37	4,64	5,71

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 4,64 sementara pH tanah di daerah katoda menjadi 5,71. 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 Alshwabkeh (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 Probst 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.

3.4.3. 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 20 mA selama 7 hari pada kedalaman 2 m. Adapun hasil pengujian permeabilitas tanah disajikan pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Hasil pengujian permeabilitas tanah pada tiang tunggal yang dialiri arus 20 mA selama 7 hari

Permeabilitas Tanah Sebelum Perlakuan Elektrokinetik (cm/detik)	Permeabilitas Tanah Sesudah Perlakuan Elektrokinetik (cm/detik)	
	Anoda	Katoda
1,026E-07	0,300E-07	0,300E-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.

3.4.4. Kuat Geser Undrained

Kuat geser tanah merupakan salah satu parameter daya dukung tanah. Untuk tiang tunggal dengan perlakuan elektrokinetik dengan arus 20 mA dilakukan pengujian *vane shear test* tanah di lapangan sebelum dan sesudah perlakuan elektrokinetik. Adapun hasil pengujian *vane shear test* tanah di lapangan disajikan pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil pengujian *Vane Shear Test* pada tiang tunggal yang dialiri arus 20 mA selama 7 hari

Sampel Tanah	<i>Undrained Shear Strenght</i> (Su) (kg/cm ²)	<i>Undrained Shear Strenght</i> (Su) (kPa)
Tanpa Perlakuan	0,147	14,665
Anoda	0,191	19,099
Katoda	0,113	11,255

Dari data di atas dapat dilihat bahwa perlakuan elektrokinetik berpengaruh pada nilai kuat geser tanah baik pada tanah sekitar anoda maupun katoda. Pada akhir pengujian, kuat geser tanah di sekitar anoda lebih besar daripada kuat geser tanah di sekitar

katoda. Hal ini menunjukkan bahwa kuat geser *undrained* pada tanah sekitar anoda (tiang) meningkat akibat perlakuan elektrokinetik. Dimana kita ketahui bahwa kuat geser tanah merupakan salah satu parameter daya dukung tanah memberikan pengaruh pada daya dukung tiang tunggal. Dengan kata lain perlakuan elektrokinetik meningkatkan daya dukung tiang yang ditunjukkan dengan adanya peningkatan kuat geser *undrained* setelah perlakuan elektrokinetik.

3.4.5. 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.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a) Dari hasil *loading test*, daya dukung tiang tunggal (Q_u) tanpa perlakuan memiliki nilai yang mendekati daya dukung (Q_u) awal dari data sondir pada waktu tunggu 7 hari.
- b) 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.
- c) Setelah perlakuan elektrokinetik, daya dukung (Q_u) tiang tunggal dibandingkan dengan tiang tanpa perlakuan pada waktu tunggu yang sama (7 hari) untuk pemberian kuat arus 20 mA, 40 mA, 80 mA, 160 mA, dan 320 mA masing-masing mengalami kenaikan sebesar 21,1%; 26,0%; 33,7%; 38,5%; dan 45,2%.
- d) Semakin besar kuat arus yang diberikan, semakin besar pula beda potensialnya, menunjukkan semakin cepat proses elektroosmotik yang terjadi.
- e) 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.

4.2. 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.

Daftar Pustaka

- Acar YB, Alshwabkeh AN. (1993). *Principles of Electrokinetic Remediation. Environmental Science and Technology* 27(13):2638-2647.
- Azami, Fikri Irfanil. (2017) *Kajian Efisiensi Kelompok Tiang Dengan Konfigurasi 3x3*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Azzam R., Oey W. (2001). *The Utilization of Electrokinetics in Geotechnical and Environmental Engineering, Transport in Porous Media* 42:293-314
- Hausmann, Manfred R. (1990). *Engineering Principles of Ground Modification*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

- Johnston, I. W. (1978). "***Electro-Osmotic and Its Application to Soil and Foundation Stabilisation.***" *Proc. Symp. Soil Reinforcing and Stabilising Techniques*, Sydney, Australia, 1978, pp.459-476
- Rustamaji, Raden Mas (2007). ***Ground Improvement Electro Chemical Injection.*** Aachen: RWTH Aachen University.
- Sepriawan, Muhar (2012). ***Studi Pemampatan Tanah Lunak Pontianak dengan pengaruh Gejala Elektroosmosis.*** Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Probstein RF, Hiks RE. (1993). ***Removal of Contaminants from Soils by Electric Fields.*** *Science* 260:498-503.
- Yeung, A. T. "***Effects of Electro-Kinetic Coupling on The Measurement of Hydraulic Conductivity,***" ***Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil.*** ASTM STP 1142, David E. Daniel and Stephen J. Trautwein, Eds., *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, 1994.