

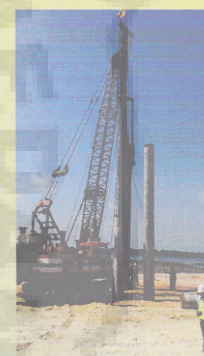
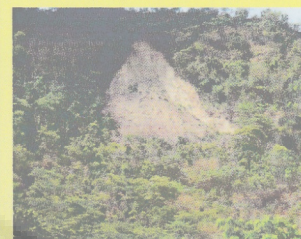
# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL GEOTEKNIK 2016

### HATTI Yogyakarta

Yogyakarta, Indonesia  
11 Agustus 2016

Editor : Fikri Faris  
Agus Darmawan Adi  
Devi Oktaviana Latief  
Willis Diana



**Perkembangan Ilmu dan Teknologi  
Bidang Geoteknik pada  
Pembangunan yang Berwawasan Lingkungan**



Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia - HATTI  
Indonesia Society For Geotechnical Engineering - ISGE

**PROSIDING**  
**SEMINAR NASIONAL GEOTEKNIK 2016**

**Editor**

Fikri Faris  
Agus Darmawan Adi  
Devi Oktaviana Latief  
Wilis Diana

**Diselenggarakan atas kerjasama:**

Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI) Cabang Daerah Istimewa Yogyakarta

**dan**

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

**Horison Ultima Riss Hotel, Yogyakarta, Indonesia**

**11 Agustus 2016**

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL GEOTEKNIK 2016

**Editor**

Fikri Faris

Agus Darmawan Adi

Devi Oktaviana Latief

Wilis Diana

**Reviewer**

Prof. Hary Christady Hardiyatmo

Muhammad Yamin

Devi Oktaviana Latief

Wilis Diana

Indriati M. Patuti

I Nengah Sinarta

Adzoki Waruwu

Muhajirah

Sriyati Ramadhani



Penerbit:



Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan  
Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55284  
Tel. (0274) 545675

Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia  
Basement Aldevco Octagon  
Jl. Warung Jati Barat Raya No. 75  
Jakarta 12740 Tel. (021) 7981966

## DAFTAR ISI

HalamanJudul	
Kata Pengantar	
Experimental study on impact forces of submarine landslide on cables ( <i>Fawu Wang, Zili Dai, TomokazuSonoyama, Mitsuki Honda, YoheiKuwada</i> ).....	1
Application of Geotechnical Centrifuge in Japan and development of innovative liquefaction countermeasure technique ( <i>Mitsu Okamura</i> ).....	9
Elektrokinetik: Fenomena Dan PotensiSebagaiAlternatifStabilisasi Tanah LempungLunak ( <i>Nahesson H Panjaitan, Ahmad Rifa 'I, AgusDarmawanAdi, P. Sumardi</i> ).....	17
Upaya Mengurangi Tingkat Keretakan Pada Lapis Stabilisasi Perkerasan Tanah Semen ( <i>Arif Widiyanto</i> ) .....	23
Pengaruh Reaksi Semen Pada Peningkatan Kekuatan Soil Cement ( <i>Priyo Suroso, Lawalenna Samang, Wihardi Tjaronge, Muhammad Ramli</i> ) .....	35
AnalisisBalik Model NumerikMekanisme Transfer BebanFondasi Plat DenganPengaku Dari HasilUjiBebanStatisVertikalSkalaPenuhPadaKondisiSmall-Strain ( <i>HelmyDarjanto, Sri WiwohMudjanarko, AryoNugroho</i> ) .....	41
Model Bingham dan Herschel-BulkleyUntukViskositas Lumpur SidoarjoMenggunakan Flow Box Test ( <i>BudijantoWidjajadan Anthony</i> ) .....	47
StudiEksperimentalPembebananPelat yang DiperkuatTiangpada Tanah Gambut ( <i>AazokhiWaruwu, HaryChristadyHardiyatmo, Ahmad Rifa 'I</i> ).....	53
Peak Ground Accaleration of Surakarta ( <i>YusepMuslih P, NoegrohoDjarwanti, Reza Satria W, Muhammad Irwin K</i> ) .....	61
Effect Citanduy Fault On Seismic Hazard Analysis Leuwikeris Dam, West Java-Indonesia ( <i>Muhammad RizaH, HendraJitno, Fioliza A</i> ).....	67
AnalisisPotensiLikuifaksiPadaLapisan Tanah Mengandung Pumice ( <i>Muhajirah, Ahmad Rifa 'I, AgusDarmawanAdi</i> ).....	75
Liquefaction Study Using Shear Wave Velocity ( $V_s$ ) Data in Coastal Area of Bengkulu City ( <i>LindungZalbuinMase, AndriKrisnandiSomantri</i> ).....	81
PertimbanganEfekKonsolidasiTerhadapStabilitasSheet Pile Longstoragedi tanahLunak, Jakarta Utara ( <i>CepiHerdiyan K, Muhammad Riza H</i> ).....	87

# Elektrokinetik: Fenomena dan Potensi Sebagai Alternatif Stabilisasi Tanah Lempung Lunak

Nahesson H Panjaitan

*Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Medan, Medan*

Ahmad Rifa'i

*Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

Agus Darmawan Adi

*Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

P. Sumardi

*Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

**ABSTRAK:** Elektrokinetik adalah proses pergerakan listrik (elektron) yang terjadi akibat adanya beda potensial 2 (dua) kutub sumber tegangan (anoda (+) dan katoda (-)). Pergerakan elektron selama proses elektrokinetik pada material konduktor, termasuk tanah, dapat menyebabkan terjadinya beberapa fenomena, seperti: elektrokimia, elektroforesis dan elektromigrasi. Konsep pengembangan elektrokinetik sebagai alternatif stabilisasi tanah lunak adalah proses pertukaran ion (*ion exchange*) dengan bahan stabilisator. Pertukaran ion dapat terjadi akibat perubahan kesetimbangan muatan ion pada molekul tanah selama elektrokinetik berlangsung. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan proses elektrokinetik sebagai alternatif stabilisasi lempung lunak yang efektif, murah dan mudah dalam pengoperasiannya. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya beberapa fenomena yang menarik, antara lain pengamatan secara visual pergerakan larutan kapur dalam tanah, pertukaran kation dalam tanah, serta terjadinya perubahan sifat properties tanah yang menunjukkan indikasi terjadinya peningkatan kekerasan pada tanah lunak. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa elektrokinetik memiliki potensi yang sangat besar sebagai alternatif usaha stabilisasi pada tanah lempung lunak.

**Kata Kunci:** elektrokinetik, lempung lunak, stabilisasi

**ABSTRACT:** Electrokinetic is the movement of electricity (electrons) that occurs due to a potential difference of 2 (two) polar-source voltage (anode (+) and cathode (-)). The movement of electrons on conductor material during the electrokinetic process, including soil, could lead to some phenomena, such as electrochemistry, electrophoresis and electromigration. Concept of electrokinetic development as an alternative to soft soil stabilization is the process of ion exchange (*ion exchange*) with the stabilizer material. Ion exchange can occur as a result of changes in ionic equilibrium on the soil during electrokinetic molecule takes place. This research was conducted to develop the electrokinetic process as alternatif stabilization of soft clay that is effective, inexpensive and easy to operate. The results showed the occurrence of some interesting phenomena, such as the movement of a visual observation of lime in the soil solution, cation exchange in the soil, as well as the changing nature of soil properties that show indications of an escalation of violence on soft ground. The results obtained indicate that the electrokinetic has enormous potential as an alternative to the stabilization effort in soft clay soil.

**Key words:** electrokinetics, soft clay, stabilization

## 1 PENDAHULUAN

Kemampuan elektron bergerak dalam media konduktor, termasuk tanah lempung yang memiliki plastisitas yang sangat tinggi, adalah salah satu kelebihan elektrokinetik yang dapat dikembangkan dan digunakan sebagai alternatif usaha stabilisasi lempung ekspansif.

Pergerakan elektron selama proses elektrokinetik menyebabkan terjadinya medan listrik dan memungkinkan terlepasnya ion bermuatan yang terikat di permukaan molekul lempung. Efek terlepasnya ion bermuatan yang terikat di permukaan molekul lempung menyebabkan terjadinya perubahan kesetimbangan muatan listrik di tanah

lempung. Untuk membentuk kesetimbangan muatan listrik, maka molekul lempung yang diketahui memiliki muatan negatif (Mitchell, 1992) menarik dan mengikat ion bermuatan positif (kation) yang berada disekitar molekul tanah lempung. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati fenomena pertukaran kation pada tanah lempung akibat proses elektrokinetik.

## 2 STUDI PUSTAKA

### 2.1. Tanah Lempung

Lempung adalah suatu jenis tanah yang terbentuk dari pelapukan batuan inti. Tanah ini tersusun dari beberapa jenis mineral, di dominasi oleh unsur Silikon (Si) dan Aluminium (Al), dan memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 2  $\mu\text{m}$  (Weaver, 1989).

Unsur Silikon dan Aluminium, dengan Oksigen ( $\text{O}_2$ ) membentuk senyawa Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Komposisi senyawa Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada tanah lempung mempengaruhi sifat propertis dan mekanis dari tanah ini. Perbandingan senyawa Silika dan Alumina pada tanah lempung dapat membentuk perbandingan senyawa 1:1 atau 2:1, dan membentuk kombinasi susunan senyawa yang menghasilkan berbagai jenis lempung (Gbr. 1).

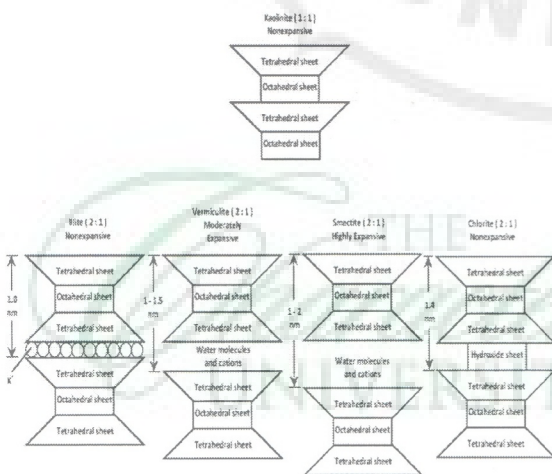
tinggi (Mitchell, 1992). Akibat proses kimia, fisika dan mekanika, tanah lempung memiliki muatan negatif pada permukaan molekulnya (Van Olphen, 1977). Untuk membentuk ikatan molekul tanah yang lebih besar, maka lempung memerlukan ion bermuatan positif (kation) agar terjadi ikatan dengan molekul lempung lainnya. Kation dapat berasal dari molekul air yang memiliki sifat bipolar dan juga dari ion logam. Banyak dan jenis kation yang terikat pada permukaan molekul lempung mempengaruhi banyaknya molekul air yang dapat diikat oleh molekul lempung dan kation tersebut. Banyaknya molekul air yang terikat pada kation menentukan apakah lempung bersifat ekspansif atau tidak.

### 2.2. Proses Elektrokinetik

Elektrokinetik adalah Bergeraknya partikel atau mineral pada suatu media konduktor yang disebabkan oleh listrik. Pergerakan partikel atau mineral ini disebabkan oleh medan listrik yang terjadi pada media konduktor. Medan listrik pada media konduktor terbentuk akibat pergerakan elektron dari kutub negatif (anoda) menuju kutub positif (katoda) (Brady dan Weil, 2008).

Pergerakan elektron di tanah lempung dapat menyebabkan terjadinya fenomena elektrokimia, elektroforesis, elektroosmosis, dan fenomena pertukaran kation. Secara nyata penelitian ini juga dapat menunjukkan terjadinya fenomena-fenomena tersebut, antara lain pergerakan ion selama proses elektrokinetik (Panjaitan, 2011), dan pertukaran kation (Panjaitan, 2013). Medan listrik yang terbentuk akibat pergerakan listrik di lempung menyebabkan terjadinya perubahan muatan listrik di tanah lempung.

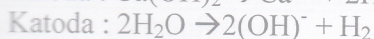
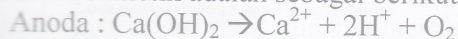
Untuk membentuk kesetimbangan baru, molekul tanah lempung memerlukan kation. Kation tersebut dapat diperoleh dari molekul air yang memiliki sifat bipolar dan juga kation bebas yang berada disekitar molekul lempung. Kapur (dalam bentuk larutan,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yang digunakan sebagai bahan stabilisator, selama proses elektrokinetik mengalami reaksi kimia (elektrokimia). Jika diletakkan di ruang elektroda negatif (katoda), kapur akan bereaksi dan menghasilkan ion Hidroksil ( $\text{OH}^-$ ), dan menghasilkan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) jika kapur diletakkan di ruang elektroda positif (anoda). Reaksi kimia



Gbr. 1. Jenis tanah lempung berdasarkan kombinasi ikatan susunan senyawa Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Pengaruh ukuran butiran dan mineral pembentuk molekul lempung, menyebabkan tanah ini memiliki sifat plastisitas yang sangat

terhadap larutan kapur ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) selama proses elektrokinetik adalah sebagai berikut:



Ion-ion yang terbentuk di ruang elektrolit selama proses elektrokinetik berlangsung, akibat adanya medan listrik bergerak menuju kutub yang berlawanan (kation bergerak menuju katoda (kutub negatif) dan anion bergerak menuju anoda (kutub positif). Pergerakan ion (kation dan anion) dan ketidaksetimbangan muatan listrik pada permukaan lempung, memungkinkan terjadinya pengikatan ion baru di permukaan lempung.

### 2.3. Pertukaran Kation

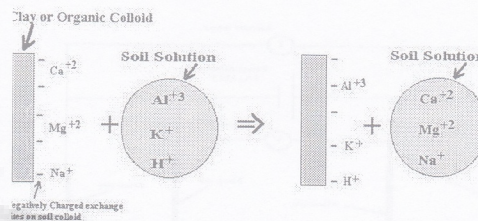
Pertukaran kation pada proses stabilisasi lempung dengan menggunakan bahan stabilisator, umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya: bilangan valensi ion, ukuran ion dan potensial elektronegativitas ion. Faktor-faktor tersebut mempengaruhi tingkat reaktifitas suatu ion, dimana ion dengan bilangan valensi dan ukuran yang lebih besar, mampu menggantikan ion dengan bilangan valensi dan ukuran yang lebih kecil.

Ion (kation dan anion) memiliki potensial elektronegativitas untuk mengikat ion bebas lain di sekitarnya, untuk membentuk kesetimbangan muatan yang baru. Potensial elektronegativitas adalah sebuah sifat kimia yang menjelaskan kemampuan sebuah atom untuk menarik elektron menuju dirinya sendiri pada ikatan ion (Pauling, 1960).

Urutan ion berdasarkan tingkat reaktifitasnya disusun dari tingkat reaktifitas kecil menuju besar adalah sebagai berikut (Mitchell, 1992):  $\text{Li}^+ - \text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Rb}^+ - \text{Cs}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{Ba}^{2+} - \text{Cu}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{Fe}^{3+} - \text{Th}^{4+}$ . Urutan ion ini dikenal juga dengan deret Volta.

Berdasarkan ketentuan dari pertukaran kation, ion yang berada di sebelah kiri ion lainnya dapat diganti dengan ion di kanannya. Misalnya ion  $\text{Ca}^{2+}$  dapat menukar ion  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Li}^+$ . (Gbr. 2).

Pada proses elektrokinetik, pertukaran kation pada permukaan lempung dipercepat dengan munculnya medan listrik akibat pergerakan listrik pada lempung. Medan listrik menyebabkan terjadinya gaya listrik yang dapat menarik kation yang menempel pada permukaan lempung.



Gbr. 2. Analogi pertukaran kation pada permukaan partikel tanah lempung

Kation yang tertarik (terlepas) dari permukaan lempung menyebabkan terjadinya perubahan kesetimbangan muatan listrik, dimana permukaan lempung memiliki kelebihan muatan negatif. Untuk membentuk kesetimbangan muatan yang baru, maka permukaan lempung menarik kation bebas yang berada disekitarnya.

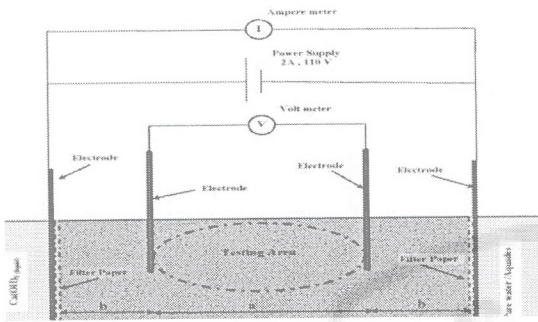
Bahan stabilisator (dalam hal ini kapur), mengalami reaksi kimia di kutub positif (anoda), menjadi ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Pergerakan elektron dari katoda (kutub negatif) menuju anoda (kutub positif) menyebabkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  ikut bergerak menuju katoda (kutub negatif). Pada saat kecepatan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang ideal (tidak terlalu cepat atau terlalu lambat), permukaan lempung akan menarik ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan membentuk ikatan baru. Fenomena pertukaran kation akan selesai jika jumlah muatan positif dari kation relatif sama dengan jumlah muatan negatif permukaan lempung.

## 3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan eksperimental di laboratorium, dengan menggunakan 3 jenis lempung ekspansif yang diambil dari lokasi yang berbeda. Proses elektrokinetik dilakukan dengan menggunakan elektroda yang terbuat dari bahan tembaga, larutan kapur, dan air suling (aquades). Listrik yang digunakan selama proses elektrokinetik adalah listrik DC (*Direct Current*) dengan kapasitas 2 mili Ampere dan 25 Volt.

Skematik pengujian dapat dilihat pada Gbr. 3 berikut ini. Pertukaran kation diamati dengan melakukan pengujian konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan kation lainnya yang memiliki potensi mengalami pertukaran kation selama proses elektrokinetik berlangsung. Pengamatan dilakukan pada periode waktu tertentu dengan melakukan pengujian konsentrasi kation dengan metode AAS.

2. Perilaku sifat propertis tanah

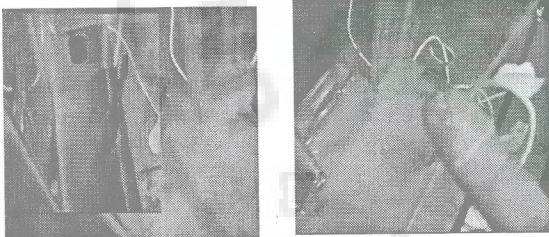


Gbr. 3. Skematik pengujian proses elektrokinetik

4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

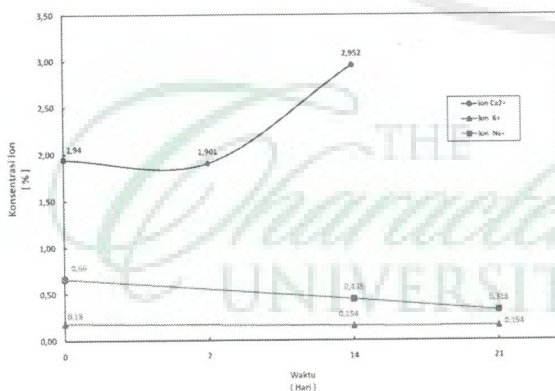
4.1. Hasil Penelitian

Beberapa hasil penelitian yang diperoleh antara lain:

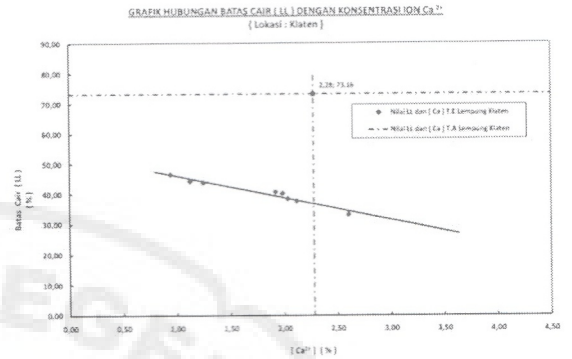


Gbr 4. Fenomena elektromigrasi akibat proses elektrokinetik

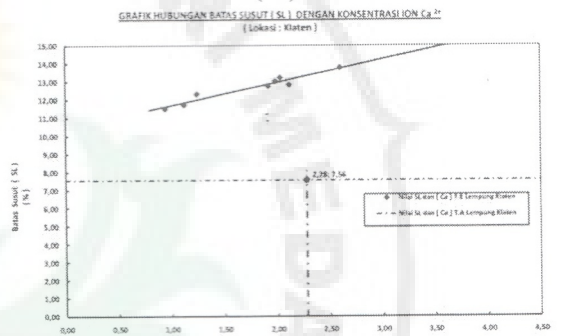
1. Pertukaran kation



Gbr. 5. Fenomena pertukaran kation akibat proses elektrokinetik



(a)



(b)

Gbr. 6. Perubahan perilaku sifat propertis tanah lempung akibat proses elektrokinetik (a). perilaku perubahan batas cair (*Liquid Limits, LL*), (b). Perilaku perubahan batas susut (*Shrinkage Limits, SL*)

4.2. Pembahasan

Dari hasil penelitian yang sudah dicapai menunjukkan bahwa hipotesa awal terhadap fenomena yang akan terjadi akibat proses elektrokinetik pada media pengujian berupa tanah lempung benar terjadi. Pengaruh medan listrik mendominasi terjadinya fenomena elektromigrasi dan pertukaran kation selama proses elektrokinetik berlangsung.

Pengaruh pertukaran kation akibat proses elektrokinetik pada tanah lempung, menunjukkan perilaku terjadinya penurunan nilai batas cair (*Liquid Limits, LL*) dan peningkatan nilai batas susut tanah (*Shrinkage Limits, SL*). Perubahan perilaku ini dapat disebabkan pada saat pengurangan kation awal yang terdapat di tanah lempung, maupun perubahan dan penambahan kation Ca<sup>2+</sup> pada tanah lempung selama proses elektrokinetik berlangsung.



## 5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah diperoleh, dengan memanfaatkan fenomena elektromigrasi, elektrokimia dan pertukaran kation selama proses elektrokinetik berlangsung, di dukung oleh kemampuan untuk menembus lapisan liat tanah lempung, proses elektrokinetik memiliki potensi dikembangkan sebagai alternatif usaha stabilisasi tanah lempung lunak maupun lempung ekspansif.

## PENGHARGAAN

Penelitian ini dibiayai oleh Pemerintah Indonesia melalui *Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (RISTEKDIKTI)* pada program *HIBAH BERSAING* Tahun ke-2, untuk Tahun Anggaran 2016.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brady, N. C., dan Weil, R. R. 2008. *The Nature and Properties of Soils, 14th Edition*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Mitchell, J. K. 1992. *Fundamentals of Soil Behavior*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Panjaitan, N. H., Rifa'i, A., Adi, A. D., Sumardi, P. 2011. *The Phenomenon of Electromigration During Electrokinetics Process On Expansive Clay Soil*. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS. Vol:12, No:04
- Panjaitan, N. H., Rifa'i, A., Adi, A. D., Sumardi, P. 2013. *Experimental Study of Cation Exchange on Expansive Clay with Electrokinetics Process*. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS. Vol:13, No:02.
- Pauling, L. C. 1960. *Nature of the Chemical Bond (3rd Edn)*. NY: Cornell University Press, 1960). pp. 88–107.
- Van Olphen, H. 1977. *Clay Colloid Chemistry*, Second Edition, John Wiley & Sons, United State of America.
- Weaver, C. E. 1989. *Clays, Muds, and Shales*. Amsterdam. Elsevier.