

# KEKUATAN AWAL STABILISASI GAMBUT MENGGUNAKAN GEOPOLIMER DENGAN VARIASI MODULUS SILIKAT

Yazid Fahmi Ananda<sup>1)</sup>, Gunawan Wibisono<sup>2)</sup>, Monita Olivia<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya JL. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

E-mail: [yazid.fahmi3778@student.unri.ac.id](mailto:yazid.fahmi3778@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*Peat is a source of quite a lot of organic matter. The fibrous texture of peat soil makes the soil has low shear strength. To overcome the low bearing capacity of the peat, it is necessary to stabilize the peat soil. Soil stabilization with a mixture of fly ash geopolimer which is rich in silica and alumina is a new innovative material that is more environmentally friendly and can be developed as an alternative to cement. The purpose of this study is to increase the bearing capacity of peat soil and minimize the use of cement in mixture below 250kg/m<sup>3</sup> through UCS (Unconfined Compressive Strength) test. The variations of the silicate modulus used in this research were ms 1, ms 1.5, and ms 2 with a concentration of 10M NaOH and a curing time of 7 and 14 days.. The results of the study shows that the hybrid geopolimer mixture could increase the bearing capacity and shear strength of peat with the optimum compressive strength value of 23.96 kPa at 7 days of curing time and the lowest compressive strength of 17.30 kPa at 14 days of curing time.*

**Keywords:** peat soil, geopolimer, soil stabilization, cement

## 1. PENDAHULUAN

Daya dukung suatu tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kadar organik, dan lain-lain. Tanah gambut memiliki kadar air dan angka pori yang tinggi serta tanah gambut juga memiliki kadar organik diatas 75% (ASTM D-4427,1984). Hal ini mengakibatkan daya dukung tanah gambut rendah dan memiliki tingkat kemampumampatan yang tinggi yang apabila dibebani akan mengalami penurunan yang cukup besar.

Target kuat geser pada tanah subgrade jalan menurut Juha (2018) adalah antara 40 sampai 70 kPa. Untuk memenuhi kriteria suatu kontruksi maka tanah gambut harus distabilisasikan.

Penggunaan bahan aditif dalam stabilisasi tanah gambut akan memberikan dampak karakteristik fisik maupun kimia dari tanah menjadi lebih baik atau stabil dan memiliki daya dukung yang lebih tinggi. Pelaksanaan stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan tambah akan menjadikan tanah mengalami kenaikan bahkan hampir 3 kali lipat. (Nugroho et al., 2008).

Material pengikat yang sering digunakan adalah semen, semen sebagai bahan tambah pada tanah gambut sudah banyak digunakan dalam beberapa penelitian di Indonesia (Damoerin & Soepandji, 2011), dalam penelitian (Juha, et al., 2018) menyatakan bahwa sekitar 70% biaya stabilisasi diestimasikan untuk semen tersebut. Maka, untuk mengurangi biaya salah satu alternatif pengganti sebagian semen adalah dengan memanfaatkan material pembuangan limbah industri seperti abu terbang (Fly Ash) (Sha & kalantari., 2012).

Penelitian terdahulu menemukan bahwa terdapat kandungan silika dan alumina pada abu terbang sisa pembakaran batu bara dan apabila dicampur dengan larutan alkali akan menghasilkan reaksi geopolimer. Menurut (Aulia., 2017), agar terjadi reaksi geopolimerisasi, aktivasi kedua senyawa ini menggunakan larutan aktivator yang bersifat alkalis, seperti NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Penggunaan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> berperan sebagai perekat antara material sehingga membentuk pasta padat (Olivia, 2015).

Menurut Wong et al., (2008) tingginya campuran Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang digunakan pada

tanah gambut dapat menaikkan nilai kuat tekan tanah dan hasil penelitian Ridditirud et al., (2018) menyatakan penggunaan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang banyak menghasilkan viskositas yang tinggi dan spesimen akan terkompresi dengan baik. Namun, jika terlalu banyak  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang merupakan larutan yang membantu menyelesaikan sintesis geopolimer, tidak baik untuk meningkatkan kuat tekan, perbandingan  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang sangat efektif pada suhu kamar adalah 1/1, dan perbandingan  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$  pada suhu 40 derajat Celcius yang sangat efektif adalah 2/3.

Penelitian mengenai stabilisasi tanah gambut menggunakan geopolimer hybrid ini adalah satu cara untuk menstabilkan tanah, selain itu juga dapat mengurangi penumpukan limbah abu terbang yang mencemari lingkungan, dan meminimalisir penggunaan semen.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanah Gambut

Lahan Gambut merupakan suatu ekosistem lahan basah (wetlands) yang dibentuk oleh adanya penimbunan/akumulasi bahan organik di permukaan hutan yang berasal dari reruntuhan di atasnya dalam kurun waktu yang lama. Akumulasi ini terjadi karena lambatnya dekomposisi, karena lambatnya prosesnya dekomposisi, di ekosistem rawa gambut masih dapat dijumpai batang, cabang dan akar besar (Murdiyarso et al, 2004). Tanah gambut juga termasuk tanah yang memiliki kadar keasaman tinggi dan mempunyai daya dukung yang rendah. (Moayed et al., 2014). Menurut Johan (2003) menyatakan Nilai Fe yang besar pada tanah gambut banyak mengandung unsur mikro. Hal ini ditunjukkan oleh Stevenson (1982) mengemukakan bahwa masing-masing kation memiliki konstanta kestabilan yang berbeda-beda. Kondisi pH yang rendah ini secara tidak langsung akan menghambat ketersediaan unsur-unsur hara makro seperti P, K, dan Ca, dan sejumlah unsur hara mikro (Masganti et al., 2003).

Gambut dengan tingkat kematangan saprik mempunyai kadar P-tersedia yang lebih tinggi diikuti oleh gambut khemik dan fibrik.

### 2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kepadatan tanah dan menaikkan kekuatannya (Syananta & Adha, 2016).

Menurut Bowles (1984) apabila tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan.

Gambut memiliki sifat geoteknik negatif yang cukup besar seperti kandungan air yang tinggi, kekuatan geser yang rendah, bahan organik yang tinggi, dan daya dukung yang rendah. Akibat dari hal tersebut gambut termasuk tanah yang paling sulit dibangun struktur di atasnya. Menurut (Wong et al., 2011), apabila gambut dicampur dengan bahan pengikat yang tidak cocok dan tidak cukup, akan menyebabkan kegagalan atau keruntuhan formasi kolom. Stabilisasi tanah gambut telah banyak dilakukan, dari beberapa penelitian yang terkait seperti yang dilakukan oleh Hansson (2007), melakukan penelitian stabilisasi tanah gambut dengan *fly ash*, hasilnya terjadinya peningkatan nilai kuat tekan pada tanah gambut.

### 2.3 Geopolymer Hybrid

Geopolimer dapat didefinisikan sebagai bahan yang dihasilkan oleh geosintesis makromolekul aluminosilikat dan logam alkali silikat yang menghasilkan kerangka polimer  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  berikatan tetrahedral (Davidovits & France, 2019). Geopolimer terdiri dari bahan padat dan

larutan aktivator yang dapat menggantikan semen dan menghasilkan sistem ikatan aluminosilikat (Raharja et al., 2017) Menurut (Canakci et al., 2019) bahan aluminosilikat lebih dilarutkan dengan bahan larutan alkali aktivator untuk membentuk silika dan alumina yang reaktif, kemudian reaksi polikondensasi terjadi di lingkungan alkali tinggi sehingga menyebabkan penyusunan ulang Si-O-Al yang membuat material memiliki kekuatan mekanis yang tinggi.

Melalui beberapa penelitian, abu terbang telah banyak digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah, bahan tambah atau filler pada beton, pembuatan beton ringan, dan grouting (Wardani, 2008).

## 2.4 Bahan Geopolymer Hybrid

### 1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan abu hasil pembakaran batu bara yang berupa butiran halus dan bersifat pozzolan. Menurut (Molina & Poole, 2004), hasil transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batu bara disebut abu terbang.

### 2. Semen PCC

Sejak tahun 1917 bahan stabilisasi tanah yang sering digunakan adalah semen (Hardiyatmo, 2010). Menurut Huat (2006) penambahan persentase semen dapat meningkatkan properties dari tanah gambut tropikal.

Semen portland pada stabilisasi tanah berguna untuk meningkatkan daya tahan pada tanah. Semen ini juga bisa digunakan pada stabilisasi pada tanah gambut. Penelitian Chen dan Wang (2006) menghasilkan semakin tinggi kadar OPC digunakan pada tanah maka semakin tinggi juga kuat geser.

### 3. Larutan Alkali

Secara umum larutan alkali yang digunakan pada geopolimer adalah natrium hidroksida dan sodium silikat. Larutan alkali aktivator NaOH adalah salah satu bahan yang dapat meningkatkan kuat tekan

tanah (Abdullah et al., 2017) dan yang paling sering digunakan karena selain mudah ditemukan harganya juga murah.

Tingginya campuran  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang digunakan pada tanah gambut bisa menaikkan nilai kuat tekan tanah (Wong et al., 2008), karena tanah gambut mempunyai partikel padat yang rendah.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  berperan dalam mempercepat reaksi polimerisasi (Ekaputri et al., 2007) dan sebagai perekat antara material-material sehingga membentuk pasta padat (Olivia, 2015).

## 2.5 Unconfined Compressive Strength (UCS)

Pengujian UCS adalah bentuk khusus dari uji triaxial UU yang umum dilakukan pada tanah kohesif. Pengujian UCS adalah pengujian sederhana dalam menentukan nilai kuat tekan pada tanah, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan bebas dari tanah dan campuran. Kuat tekan bebas adalah besarnya tegangan aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20 % (Eisgher, 1984).

Peneliti (Wong et al., 2008) melakukan pengujian *Unconfined Compressive Strength* untuk mendapatkan nilai kuat tekan tertinggi dari menstabilkan tanah dengan beberapa campuran pada tanah asli.

Berikut perhitungan yang digunakan dalam pengujian UCS :

#### 1. Regangan aksial

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100$$

Keterangan :

$\epsilon_1$  = Regangan Aksial (%)

$\Delta H$  = Perubahan tinggi benda uji pada dial deformasi (mm)

$H_0$  = Tinggi benda uji semula (mm)

#### 2. Luas Terkoreksi

$$A_c = \frac{A_0 \times 10^{-6}}{(1 - \epsilon_1)}$$

Keterangan :

$A_c$  = Luas penampang terkoreksi ( $\text{m}^2$ )

$A_0$  = Luas penampang benda uji semula ( $\text{mm}^2$ )

$\epsilon_1$  = Regangan Aksial (desimal)

3. Tegangan Tekan ( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c}$$

Keterangan :

$\sigma_c$  = Tegangan tekan (kN/m<sup>2</sup>)

P = Beban yang diberikan (kN)

$A_c$  = Luas penampang terkoreksi (m<sup>2</sup>)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Riau. Pengujian diawali dengan pengujian fisik pada tanah gambut, perencanaan variasi campuran, pembuatan benda uji dan pengujian UCS.

#### 3.1 Bahan Penelitian

##### 1. Tanah Gambut

Tanah Gambut yang digunakan berasal dari Rimbo Panjang, Kabupaten Kampar, Riau. Tanah gambut yang diambil di lapangan dimasukkan ke dalam plastik dan diletakkan di dalam ember untuk menjaga kadar airnya.

##### 2. Abu Terbang

Abu terbang berasal dari PLTU Tenayan Raya, Pekanbaru. Abu terbang yang digunakan adalah yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Pengujian karakteristik abu terbang bertujuan untuk mengetahui tipe abu terbang dan kandungan unsur kimia sesuai ASTM 618. Karakteristik abu terbang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Abu Terbang

No	Parameter	Hasil
1	Moisture Content, %	0,25
2	Loss on Ignition (LoI), %	18,89
3	Silicone Dioxide (SiO <sub>3</sub> ), %	59,25
4	Aluminium Trioxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	29,25
5	Iron Trioxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	5,45
6	Titanium Dioxide (TiO <sub>2</sub> ), %	0,83
7	Calcium Oxide (CaO), %	1,54
8	Magnesium Oxide (MgO), %	0,31
9	Potassium Oxide (K <sub>2</sub> O), %	2,23
10	Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O), %	0,68
11	Phosphorus Pentoxide (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %	0,04
12	Sulphur Trioxide (SO <sub>3</sub> ), %	0,29
13	Manganese Dioxide (MnO <sub>2</sub> ), %	0,01

### 3. Semen PCC (Portland Composite Cement)

Semen PCC berasal dari PT. Semen Padang. Persentase semen yang digunakan pada sampel uji adalah 20%. Penggunaan 20% semen agar memenuhi persyaratan bahan pengikat dibawah 250 kg/m<sup>3</sup> (ALLU., 2015).

### 4. Larutan aktivator

Larutan Alkali yang digunakan NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Konsentrasi NaOH yang dipakai adalah 10M.

#### 3.2 Pengujian Fisik Tanah Gambut

Pengujian fisik tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Fisik Gambut

No	Pengujian	Standar Pengujian
1	Kadar Air	ASTM D 2216
2	Berat Volume	ASTM D 2167
3	Berat Jenis	ASTM D 854
4	Kadar Organik	ASTM D 2974
5	Kadar Abu	ASTM D 2974
6	Kadar Serat	ASTM D 1997

#### 3.3 Persiapan Sampel

Tahap awal persiapan sampel dengan melakukan pencampuran. Pencampuran tanah gambut dengan bahan tambah (additive) dilakukan dengan variasi-variasi komposisi yang telah ditentukan. Adapun langkah-langkah pencampuran, sebagai berikut:

1. Persiapan sampel tanah gambut basah dan bahan tambah yaitu, abu terbang, PCC (Portland Composite Cement), serta larutan aktivator yaitu NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sesuai komposisi yang telah ditentukan. Variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi Campuran

Mix	Water Content (%)	NaOH (M)	MS	PCC (%)	FA (%)	Pemeraman Hari	Jumlah Sampel
1	300	10	1	20	15	7,14	6
2	300	10	1,5	20	15	7,14	6
3	300	10	2	20	15	7,14	6
Kontrol	300	-	-	-	-	7,14	6
Total							24

2. Tahap awal membuat campuran geopolimer-hybrid terlebih dahulu. Masukkan abu terbang, semen, larutan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ke dalam talam. Aduk campuran hingga merata.
3. Larutan NaOH berfungsi untuk mereaksikan unsur Al dan Si didalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sedangkan, larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.
4. Kemudian, campuran geopolimer hybrid dimasukkan ke talam berisi tanah gambut basah. Sebelum pencampuran, tanah gambut telah diperiksa kadar airnya menggunakan oven untuk menentukan penggunaan air dalam mencapai water content.
5. Aduk campuran hingga merata.

### 3.4 Pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS)

Tanah yang sudah dicetak pada sampel silinder dengan tinggi 15 cm dikeluarkan dari cetakan dan dipotong bagian atas dan bawahnya untuk diuji kadar airnya. Kemudian, sampel setinggi 12 cm diuji pada alat UCS. Pengujian dilakukan dengan kecepatan 0,5%-2% dari tinggi benda uji per menitnya dan pembacaan dihentikan apabila terjadi penurunan pembebanan atau sampel telah mengalami penurunan sebesar 20% dari tingginya. .

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Fisik Gambut

Hasil pemeriksaan tanah gambut Rimbo Panjang yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Karakteristik Fisik Tanah Gambut Rimbo Panjang

No	Pengujian	Nilai
1	Kadar air tanah asli (w), %	340,82
2	Berat volume tanah ( $\gamma$ ), $\text{kN/m}^3$	10,6
3	Berat Jenis.	1,32
4	Kadar Serat, %	2,3%
5	Kadar Organik, %	92,06
6	Kadar Abu, %	7,94

Berdasarkan Tabel 4 tanah gambut secara alami mempunyai kadar air yang tinggi, yaitu 340,82 %. Berat volume tanah

gambut seberat 10,60  $\text{kN/m}^3$ . Nilai berat jenis (Specific gravity) dari tanah gambut adalah 1,32, kandungan serat tanah gambut sebesar 2,3 %, sedangkan untuk kadar organik sebesar 92,06 % dan untuk kadar abu 7,94 %.

### 4.2 Karakteristik Kimia Gambut

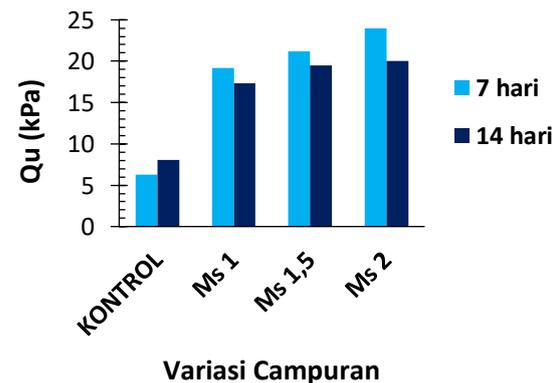
Pengujian karakteristik kimia gambut dilakukan di Laboratorium Fakultas Pertanian, Universitas Riau. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur atau senyawa kimia yang terkandung dalam tanah gambut. Karakteristik kimia gambut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Kimia Gambut

No	Pengujian	Gambut Asli	Gambut + Geopolimer
1	pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	3,42	9,38
2	pH (KCl)	3,28	9,12
3	Kadar Abu, %	7,09	53,69
4	C-Organik, %	46,46	23,15
5	N-Total, %	0,88	0,42

### 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan tanah yang telah dilakukan proses stabilisasi dengan melakukan perbandingan modulus silikat yang digunakan pada proses stabilisasi tanah gambut dengan perawatan 7 dan 14 hari dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Untuk variasi gambut asli (kontrol), kuat tekan tanah naik dari umur 7 hingga 14 hari, kuat tekan tanah pada umur pemeraman 7 hari sebesar 6,30 kPa, pada umur pemeraman 14 hari sebesar 8,07 kPa. Nilai kuat tekan gambut tanpa campuran

rendah karena tidak terjadinya proses reaksi polimerisasi pada campuran sampel.

Untuk variasi Ms 1, kuat tekan tanah gambut terstabilisasi pada umur pemeraman 7 hari sebesar 19,14 kPa, pada umur pemeraman 14 hari sebesar 17,30 kPa.

Untuk variasi Ms 1.5, kuat tekan pada umur pemeraman 7 hari sebesar 21,16 kPa, pada umur pemeraman 14 hari sebesar 19,46 kPa.

Dan untuk variasi Ms 2, umur pemeraman 7 hari sebesar 23,96 kPa, umur pemeraman 14 hari sebesar 20,01 kPa.

Hasil pengujian kuat tekan yang tertinggi pada variasi NaOH Ms 2 dengan umur pemeraman 7 hari sebesar 23,96 kPa. Sedangkan kuat tekan gambut terstabilisasi terendah pada variasi Ms 1 umur 14 hari sebesar 17,30 kPa.

Berdasarkan Gambar 1, kuat tekan terus meningkat seiring dengan bertambahnya campuran  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  pada tanah gambut.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan maksimum dengan perawatan 7 hari dengan variasi Ms 2 nilai kuat tekan tanah yang diperoleh 23,96 kPa dan kuat tekan tanah gambut yang terendah dengan variasi Ms 1 dengan nilai kuat tekan tanah umur 14 hari sebesar 17,30 kPa.
2. Tinggi nilai kuat tekan pada tanah juga dipengaruhi oleh kandungan kadar air. Semakin rendah kadar air pada tanah maka nilai kuat tekan pada tanah semakin tinggi.
3. Tanah gambut yang dicampur dengan geopolimer hybrid merupakan tanah gambut dalam kondisi basah. Benda uji sangat rentan berdeformasi ketika diberi tekanan sehingga hasil kuat tekan yang diperoleh juga tidak terlalu besar.

## Daftar Pustaka

Abdullah, H. H., Shahin, M. A., & Sarker, P. (2017). *Stabilisation of Clay with*

*Fly - Ash Geopolymer Incorporating GGBFS*. 1–8.

- Askarian, M., Tao, Z., Adam, G., & Samali, B. (2018). *Mechanical properties of ambient cured one-part hybrid OPC-geopolymer concrete*. July.
- Aulia, S., 2017. Pengaruh Campuran Geopolimer Sebagai Stabilisasi Pada Tanah Gambut Ditinjau Dari Pengujian Kuat Tekan Bebas. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Canakci, H., Güllü, H., & Alhashemy, A. (2019). *Performances of Using Geopolymers Made with Various Stabilizers for Deep Mixing*.
- Davidovits, J., & France, S. (2019). Properties of Geopolymer Cements. *Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, November 2018*.
- Erwin, Olivia, M., & Wibisono, G. (2019). Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Geopolimer Hybrid. *JomftekNIK*, 6, 1–10.
- Hansson, N., 2007. *Deep Soil Stabilization With Fly Ash*. Department Of Earth Sciences, Geotryckeriet, Uppsala University.
- Hardiyatmo, H.C., 2010. Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). *Development And Properties Of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete By Faculty Of Engineering Curtin University Of Technology*. January, 48.
- Huat, B. B. K. (2006). Effect of cement admixtures on the engineering properties of tropical peat soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 11 B(7), 1113–1120.
- Juha, F., Leena, K.-T. & Pyry, P., 2018. *Mass Stabilization As A Ground Improvement Method For Soft Peaty*.
- Kolay, P. K., Noor, S., & Taib, L. (2015). *Effect of Admixtures on the Stabilization of Peat Soil from Sarawak*, August 2015.

- Kristanto, V. H. (2018). *Metodologi Penelitian Pedoman Penulisan Karya Tulis Ilmiah (KTI)*.
- Mejía, J. M., Rodríguez, E., Gutiérrez, R. M. D. & Gallego, N., 2015. *Preparation And Characterization Of A Hybrid Alkaline Binder Based On A Fly Ash With No Commercial Value*. *J. Clean. Prod.*, Volume 104, Pp. 346-352.
- Moayedi, H., Anuar, K., Kazemian, S., Raftari, M., & Mokhberi, M. (2014). *Improvement of Peat Using Portland Cement and Electrokinetic Injection Technique*. 6851–6862.
- Molina, A., & Poole, C. (2004). *A comparative study using two methods to produce zeolites from fly ash*. 17, 167–173.
- Murdiyarto, D., Suryadiputra, I. N., & Wahyunto. (2004). Tropical peatlands management and climate change: A case study in Sumatra, Indonesia. *Wise Use of Peatlands (Vol I). Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6-11 June 2004., January*, 698–706.
- Muhyidin Arrosyid, M. F., 2017. Pengaruh Penambahan Kapur Dan Fly Ash Terhadap Daya Dukung Tanah Gambut Sebagai Subgrade Struktur Perkerasan Lentur. Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Nugroho, U., Sipil, J. T., & Teknik, F. (2008). Stabilisasi Tanah Gambut Rawapening Dengan Menggunakan Campuran Portland Cement Dan Gypsum Sintesis (Caso4h2o) Ditinjau Dari Nilai California Bearing Ratio (Cbr)., *10(2)*, 161–170.
- Raharja, D. S., Hadiwardoyo, S. P., Rahayu, W., & Zein, N. (2017). *Effect of mixing geopolymer and peat on bearing capacity in Ogan Komering Ilir ( OKI ) by California bearing ratio ( CBR ) 030009*(June).
- Venuja, S., Mathiluxsan, S., & Nasvi, M. C. M. (2017). Geotechnical Engineering Properties of Peat, Stabilized with a Combination of Fly Ash and Well Graded Sand. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 50(2), 21.
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupum Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan, *Jurnal : Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*.
- Wong, L. S., Hasim, R, & Ali, F. H. (2008). Strength and Permeability of Stabilized Peat Soil. In *Journal of Applied Sciences* (Vol. 8, Issue 21, pp. 3986-3990).