

# KEKUATAN AWAL STABILISASI GAMBUT MENGGUNAKAN GEOPOLIMER DENGAN VARIASI MOLARITAS NaOH

Dinda Septari<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: [dinda.septari1219@student.unri.ac.id](mailto:dinda.septari1219@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

Subgrade is very important in road construction. Peat have high organic matter with low bearing capacity, need to be stabilized before being used as a subgrade. Geopolymer's made by mixing fly ash with alkali activator and regarded as an eco-friendly materials for soil stabilization and suitable for peat soil because its ability to resist in acid organic environment. In this research, NaOH and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> was selected as alkali activator. Using cement as additive in geopolymer can accelerate hardening process in room temperature. This research aims to find the optimum composition of the geopolymer hybrid for peat stabilization using the UCS (Unconfined Compressive Strength) test by varying the NaOH molarity. Variations of NaOH used in this research were 8M, 10M, and 12M with Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH ratio of 1,5/1 and curing period of 7 and 14 days. Result of this research show that the highest compressive strength value is found in the variation of NaOH 8M aged 7 days with compressive strength of 24,24 kPa.

**Keywords:** Peat, Stabilization, Geopolymer Hybrid, NaOH Molarity, UCS

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanah gambut yang banyak terdapat di Provinsi Riau memiliki daya dukung yang rendah. Kuat tekan gambut di Bagansiapiapi Provinsi Riau hanya mencapai 6,15 kPa (Waruwu et al., 2020). Agar dapat digunakan sebagai *subgrade*, tanah gambut perlu distabilisasi terlebih dahulu. Stabilisasi tanah dapat mengubah kekuatan gambut (Forsman, 2015). Salah satu teknik stabilisasi yang paling efisien adalah dengan menggunakan *mass stabilization*, yaitu stabilisasi untuk mengeraskan tanah dengan menambah bahan pengikat ke tanah tersebut secara *in situ*. Selain itu, teknik *mass stabilization* memiliki tingkat getaran dan kebisingan yang rendah selama proses stabilisasi.

Davidovits (1994) menemukan suatu bahan pengikat pengganti semen yang disebut geopolimer. Pembuatan geopolimer membutuhkan bahan yang mengandung silika dan alumina seperti abu terbang serta larutan alkali aktivator seperti NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Abu terbang yang digunakan, didapat dari sisa pembakaran batubara

sehingga geopolimer juga berperan dalam pengolahan limbah.

Tipe larutan alkali aktivator yang digunakan sangat mempengaruhi sifat geopolimer dan NaOH direkomendasikan sebagai alkali aktivator karena paling umum digunakan (Heah et al., 2013 ; Abdulkareem et al., 2014 ; Al-Bakri et al. 2012). Kandungan alkali aktivator yang tinggi meningkatkan kekuatan tekan dan nilai molaritas NaOH memainkan peranan penting dalam mereaksikan geopolimer (Hamidi et al., 2016 ; Gorhan and Kurklu, 2014).

Akan tetapi, reaksi geopolimer membutuhkan perawatan pada suhu tinggi. Kombinasi geopolimer dengan bahan lain yang mengandung kalsium seperti OPC yang umumnya disebut geopolimer *hybrid*, dapat membantu perawatan pada suhu ruang (Meija, 2015). Penambahan semen pada geopolimer dapat menghasilkan reaksi *pozzolanic* yang dapat dimanfaatkan untuk menstabilkan tanah (Oktariyansa, 2020).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana komposisi optimum untuk stabilisasi gambut dengan memvariasikan molaritas NaOH, berdasarkan uji kuat tekan bebas.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanah Gambut

Tanah gambut diketahui sebagai tipe tanah yang mengandung bahan organik yang memiliki rasio rongga yang sangat tinggi, kadar air yang sangat tinggi, berat jenis yang kecil sehingga sangat ringan, kadar organik tinggi, daya dukung yang sangat rendah, kompresi yang sangat tinggi, kecepatan *creep* (rangkak) yang tinggi, serta mengalami penurunan berlebih dalam jangka panjang, termasuk penurunan primer, sekunder, maupun tersier, yang dapat menyebabkan permasalahan konstruksi (Munro, 2004 ; I. Bakar, 2004 ; Haan and Kruse, 2006 ; S and Respati, 2018).

Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut dapat dibagi menjadi

1. Gambut saprik (matang), kandungan serat <15%
2. Gambut hemik (setengah matang), kadar serat 15-75%
3. Gambut fibrik (mentah), kadar serat > 75%

### 2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan proses memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut agar dapat menaikkan kekuatannya. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur yang padat (Erwin et al., 2019).

Stabilisasi tanah pertama kali dikembangkan di Finlandia pada tahun 1990-an, dan telah digunakan secara besar-besaran sejak tahun 1993 (Juha, 2018). Stabilisasi gambut secara konvensional dengan cara mengganti gambut dengan material yang memiliki daya dukung lebih

tinggi sangat tidak ekonomis (Axelsson, 2002). Oleh karena itu, dikembangkan *mass stabilization* yaitu teknik mencampurkan suatu *agent* atau bahan pengikat ke seluruh lapisan tanah, tanah gambut tetap dipakai dan tidak dibuang. Teknik stabilisasi ini dapat mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilisasi tanah.

### 2.3 Geopolimer *Hybrid*

Geopolimer merupakan reaksi antara bahan alumina silikat dengan larutan alkali aktivator untuk memperkuat ikatan kimia. Salah satu bahan alumina silikat yang dapat digunakan adalah abu terbang.

Material *hybrid* adalah material yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang berbeda. Geopolimer abu terbang *hybrid* merupakan campuran antara bahan pengikat dari reaksi polimerisasi antara alkali aktivator dengan silika dan alumina dari abu terbang dan penambahan semen *portland* sebagai campuran (Yanuari et al., 2020). Menurut Abdullah et al. (2015), proses terjadinya geopolimerisasi dipengaruhi rasio alkali aktivator, waktu pemeraman, dan faktor lainnya.

#### 2.3.1 Abu Terbang

Menurut Molina & Poole (2019), abu terbang adalah abu yang dihasilkan dari transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batubara. Dari beberapa penelitian, abu terbang mulai banyak digunakan sebagai stabilisasi tanah, bahan tambah atau *filler* pada beton, pembuatan beton ringan, dan *grouting* (Wardani, 2008). Abu terbang yang memiliki kandungan CaO, baik untuk pengerasan awal karena CaO membantu reaksi hidrasi geopolimer, akan tetapi apabila kandungan CaO > 10%, geopolimer akan mudah *crack* (Van Deventer et al., 2006). Abu terbang yang memiliki kandungan kalsium yang rendah dan lebih dari 70% didominasi oleh kandungan silika+alumina+besi oksida merupakan tipe yang paling bagus digunakan sebagai material geopolimer (Hardjito and Rangan, 2005).

Kereaktifan abu terbang sebagai sumber Si dan Al juga perlu diperhatikan pada saat pencampuran dengan alkalin, karena hanya abu terbang dalam bentuk amorf yang lebih mudah larut dalam kondisi alkalin (Xu, 2002).

### 2.3.2 Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator yang digunakan terdiri dari larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Natrium hidroksida berfungsi sebagai aktivator dalam reaksi polimerisasi, yaitu untuk mereaksikan unsur-unsur Si dan Al yang terkandung dalam abu terbang sedangkan sodium silikat berfungsi sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi polimerisasi yaitu reaksi pengikatan oksida dan silika dari abu terbang (Subekti, 2012 ; Kasyanto, 2012). Sodium silikat juga berfungsi sebagai perekat antar material sehingga membentuk pasta yang padat (Olivia, 2015).

### 2.3.3 Semen PCC

*Ordinary Portland Cement* (OPC) adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan klinker yang terdiri dari CaO, SiO, AlO, dan FeO. Berdasarkan Askarian et al. (2018), diperlukannya penambahan semen OPC untuk mempercepat proses pengerasan geopolimer *fly ash*. Akan tetapi, semen OPC sangat sulit ditemukan di pasaran, oleh karena itu digunakanlah semen PCC.

*Portland Cement Composite* (PCC) merupakan jenis semen yang diproduksi dengan memberi bahan tambahan (*inert*) dari semen OPC, tidak melalui pembakaran klinker semen, tetapi hanya melalui penggilingan sampai kehalusan tertentu. Semen PCC biasanya digunakan sebagai pengganti semen OPC untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan dan durabilitas tinggi di lingkungan agresif.

Temperatur yang tinggi dibutuhkan untuk mereaksikan geopolimer agar lebih optimal dan menghasilkan kuat tekan yang tinggi (Ridtirud et.al., 2018). Tambahan PCC bisa menaikkan reaksi *pozzolanic*

pada geopolimer dan dapat mempermudah dalam proses pengerasan tanah atau mencapai pengoptimalisasian kekuatan pada suhu ruang dalam jangka pendek. Peningkatan kekuatan tersebut dikarenakan penambahan kalsium dari semen terbentuk dari mekanisme hidrasi antara hubungan polimer alumina dan silikat (Mehta and Siddique, 2017).

## 2.4 Unconfined Compressive Strength (UCS)

Berdasarkan SNI 3638, UCS adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan bebas dari tanah yang memiliki kohesi, baik tanah terganggu (*undisturbed*), dicetak ulang (*remolded*) maupun contoh tanah yang dipadatkan (*compacted*).

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 ( $\text{kN/m}^2$ )

P = Beban yang diberikan (kN)

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

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Struktur, Universitas Riau. Pengujian diawali dengan pengujian

karakteristik fisik tanah gambut, perencanaan komposisi campuran, pelaksanaan pembuatan benda uji dan perawatan benda uji. Setelah itu dilakukan pengujian UCS.

### 3.1 Bahan Penelitian

#### 3.1.1 Tanah Gambut

Tanah yang digunakan adalah tanah gambut yang diambil dari daerah Rimbo Panjang, Kabupaten Kampar. Tanah gambut yang diambil di lapangan diletakkan di dalam plastik untuk menjaga kadar airnya.

#### 3.1.2 Abu Terbang

Abu terbang yang digunakan adalah abu terbang yang telah kering oven, dan lolos saringan no. 200 (0,075mm). Dilakukan pengujian abu terbang untuk mengetahui tipe abu terbang dan kandungan kimia yang terdapat didalamnya sesuai pedoman ASTM 618. Pengujian abu terbang dilakukan di PT Sucofindo Cabang Pekanbaru. Hasil pengujian abu terbang terdapat pada Tabel 1.

Abu terbang yang diuji berasal dari PLTU Tenayan Raya dan termasuk kedalam abu terbang tipe F berdasarkan ASTM 618-05, karena kadar SiO<sub>2</sub> (silika) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alumina) + Fe<sub>2</sub>O lebih dari 70% dan kadar SO<sub>3</sub> kurang dari 5%. Abu terbang tipe F memiliki kemampuan rendah dalam mengikat campuran karena kandungan CaO kurang dari 10%.

Tabel 1. Data Hasil Uji Abu Terbang

No	Parameter	Hasil
1	Moisture Content, %	0,25
2	Loss on Ignition (Lol), %	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

#### 3.1.3 Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator yang digunakan terdiri dari larutan sodium hidroksida (NaOH) dan larutan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Larutan NaOH yang digunakan dalam bentuk padatan yang kemudian dilarutkan dengan air suling sesuai dengan molaritas/konsentrasi yang direncanakan. Berat molekul NaOH 40 gr/mol. NaOH yang dibuat disimpan dalam wadah yang ditutup rapat, karena jika terpapar udara cukup lama, NaOH dapat mengkristal. Molaritas yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8M, 10M, dan 12M.

Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> disebut juga waterglass, berbentuk kristal putih yang larut dalam air dan menghasilkan larutan alkali. Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang digunakan berbentuk larutan dan berasal dari PT. Sinar Sakti Kimia, Sukoharjo, Jawa Tengah. Tipe Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang digunakan adalah tipe II dengan mol ratio sebesar 2,26.

Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dicampur dengan NaOH untuk mendapatkan rasio modulus silikat (Ms), yaitu perbandingan antara Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan NaOH pada suatu larutan aktivator.

#### 3.1.4 Semen PCC

Semen yang digunakan adalah tipe semen PCC dari PT. Semen Padang dan digunakan 20% dari berat keseluruhan bahan. Digunakan semen sebanyak 20% agar memenuhi persyaratan efektivitas stabilisasi tanah yaitu bahan pengikat harus dibawah 250 kg/m<sup>3</sup> berdasarkan ALLU (2015).

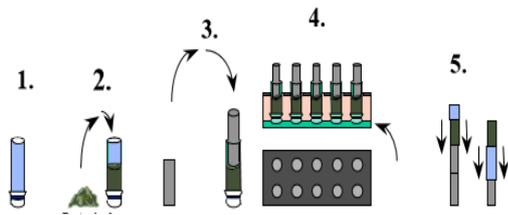
### 3.2 Perencanaan Komposisi Campuran

Pembuatan sampel menggunakan *water content* (*w*) yang ditetapkan 300% terhadap berat kering, dalam proses pembuatan sampel penggunaan MS (Modulus Silikat) 1,5, artinya larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 1,5 kali lebih banyak dari NaOH yang dibutuhkan, sedangkan variasi molaritas NaOH yang digunakan adalah 8M, 10M, dan 12M. Semen yang digunakan sebanyak 20%.

### 3.3 Pembuatan Sampel

Sampel tanah diaduk sampai relatif homogen sebelum ditambahkan bahan pengikat. Sampel dibuat dengan cara mencampurkan tanah gambut dengan abu terbang, alkali aktivator, dan semen dengan komposisi yang sudah direncanakan. Kemudian sampel dicetak dengan menggunakan tabung silinder yang di bawahnya diikat dengan kain yang kemampuan menyerapnya tinggi, hal ini dilakukan agar tanah gambut tetap menyerap air selama penyimpanan. Setelah dicetak, sampel diberi beban dari silinder besi selama 7 dan 14 hari. Sampel diletakkan di tatakan khusus sehingga sampel dapat berdiri tegak, dan bagian bawah sampel digenangi air gambut.

Pembuatan sampel mengikuti teknis pencampuran dari Axelsson (2002), Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses Pencampuran dan Persiapan Sampel pada Tanah Gambut  
Sumber : Axelsson (2002)

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Fisik Tanah Gambut

Hasil pemeriksaan karakteristik fisik tanah gambut sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Fisik Gambut

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

Kadar air asli tanah gambut Rimbo Panjang sebesar 340,82% dengan berat volume tanah sebesar 10,6 kN/m<sup>3</sup> dan berat jenis sebesar 1,32. Tanah gambut Rimbo Panjang tergolong *sapric* karena

kandungannya seratnya <33% dan termasuk medium ash karena kadar abu berada di rentang 5-15% berdasarkan klasifikasi dari ASTM D 4427.

### 4.2 Karakteristik Kimia Tanah Gambut

Hasil pemeriksaan karakteristik kimia tanah gambut dan tanah gambut yang distabilisasi dengan geopolimer pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Kimia Gambut

No	Pengujian	Gambut Asli	Gambut + Geopolimer
1	pH (H <sub>2</sub> 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

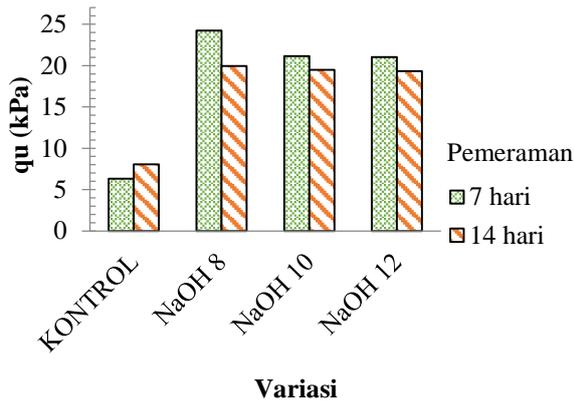
Tabel 3 menunjukkan pH tanah gambut yang distabilisasi dengan geopolimer meningkat dari 3,42 menjadi 9,38, gambut yang semula asam berubah menjadi basa setelah dicampur dengan geopolimer. Nilai C-Organik berasal dari sisa-sisa makhluk hidup yang telah mengalami proses pelapukan. Kandungan organik gambut yang telah distabilisasi dengan geopolimer mengalami penurunan dari sebelum distabilisasi, kandungan organik yang tinggi mengindikasikan tanah tersebut masih mengalami proses penguraian atau pembusukan. Nilai N-Total menunjukkan tingkat dekomposisi pada tanah gambut (Adriessse, 1988). Penurunan nilai N-Total pada gambut yang telah terstabilisasi menunjukkan turunnya tingkat dekomposisi pada gambut. Nilai Fe menunjukkan kandungan mikro yang terdapat pada tanah

### 4.3 Kuat Tekan Bebas Tanah

Hasil pengujian Kuat Tekan Bebas tanah yang sudah distabilisasi dan Kuat Tekan Bebas tanah gambut asli pada Gambar 2. Hasil pengujian kuat tekan tertinggi pada variasi NaOH 8M dengan umur pemeraman 7 hari. Kuat tekan gambut terstabilisasi selalu lebih besar daripada gambut asli (kontrol).

Pada umur 7 hari, kuat tekan gambut kontrol sebesar 6,3 kPa. Kuat tekan

tertinggi terdapat pada variasi NaOH 8M yaitu sebesar 24,24 kPa. Kuat tekan variasi NaOH 10M sebesar 21,16 kPa dan variasi NaOH 12M sebesar 21,02 kPa. Sampel NaOH 8M memiliki peningkatan tegangan yang lebih besar dibanding sampel lainnya, sedangkan variasi NaOH 12M memiliki regangan yang lebih besar dibanding variasi lain.



Gambar 2. Hasil Pengujian UCS

Pada umur 14 hari, kuat tekan gambut kontrol sebesar 8,07 kPa. Kuat tekan umur 14 hari variasi NaOH 8M sebesar 19,93 kPa, variasi NaOH 10M sebesar 19,46 kPa dan variasi NaOH 12M sebesar 19,34 kPa. Nilai hubungan tegangan-regangan pada awal pembacaan sampel memiliki nilai yang hampir sama pada tiap variasi geopolimer.

Variasi NaOH 8M yang merupakan variasi dengan molaritas terendah memiliki kuat tekan tertinggi dibanding variasi lainnya. Hal ini dikarenakan penggunaan molaritas NaOH yang berlebihan dapat mengurangi kekuatan tanah karena ion hidroksida bereaksi dengan Al dan Si secara berlebihan sehingga akan menghasilkan pengendapan gel ASH (Aluminosilikat Hidrat) pada tahap awal sehingga reaksi berikutnya menjadi terhalang yang berdampak pada penurunan kuat tekan (Khan et al., 2016).

## 5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai kuat tekan maksimum terdapat pada sampel NaOH 8M dengan umur perawatan 7 hari yaitu mencapai 24,24 kPa.
2. NaOH berfungsi sebagai aktivator dalam reaksi polimerisasi. Kandungan NaOH yang lebih rendah pada campuran geopolimer memiliki pengaruh yang lebih bagus dalam meningkatkan kekuatan tekan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Ahmad, F. & Mustafa Al Bakri, A. (2015). Geopolymer Application In Soil: A Short Review. Engineering Campus, Universiti Sains Malaysia, School Of Materials Engineering, Universiti Malaysia Perlis, Pp. 378-381.
- Adriessse, J.P. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soil. Soil Resources, Management and Conservation Service, FAO Land and Water Development Division. FAO. Rome. Pp. 50-52.
- Askarian, M., Tao, Z., Adam, G., & Samali, B. (2018). Mechanical Properties Of Ambient Cured One-Part Hybrid Opc-Geopolymer Concrete.
- Axelsson K, Johansson SE, Andersson R (2002). Stabilization of organic soils by cement and pozzolanic reactions: Feasibility study. Linkoping (Sweden): 3rd Report of Swedish Deep Stabilization Research Centre. URL: [www.swedgeo.se/sd/pdf/SD-R3E.pdf](http://www.swedgeo.se/sd/pdf/SD-R3E.pdf)
- Bakar, I. (2014). Challengers in Peat Soil Research - Malaysian Experiences. Proceedings of Soft Soils 2014, Bandung, Indonesia, A7
- Davidovits, J. (1994) 'Properties of Geopolymer Cements', *Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, pp. 131-149.
- Erwin, Wibisono, G. and Olivia, M. (2019) 'Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Geopolimer Hybrid', *Jom Fteknik*, 6(5), pp. 1-10.
- Forsman J, Jyrävä H, Lahtinen P, Niemelin T, Hyvönen I. (2015). Mass Stabilisation Handbook .pp.68.

- Heah, C.Y., H. Kamarudin, A.M. Mustafa Al Bakri, M. Luqman, I. Khairul Nizar C.M. Ruzaidi, dan Y.M. Liew. (2013). Kaolin-based geopolymer with various NaOH concentrations. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 20(3): p. 313-322.
- Abdulkareem, O.A., A.M. Mustafa Al Bakri, H. Kamarudin, I. Khairul Nizar, dan A.e.A. Saif. (2014). Effects of elevated temperatures on thermal behavior and mechanical performance of fly ash geopolymer paste, mortar and lightweight concrete. *Construction and Building Materials* 50:p.377-387.
- Al-Bakri, A.M.M., H. Kamarudin, O.A.K.A. Karem, C.M. Ruzaidi, A.R. Rafiza, dan M.N. Norazian. (2012). Optimization of alkaline activator/ fly ash ratio on the compressive strength of manufacturing fly ash-based geopolymer. *Applied Mechanics and Materials*. 110-116: p. 734-739.
- Haan D.E.J., Kruse G.A.M. (2006). Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> Int. Workshop, Singapore*, Taylor & Francis, London, 2007, 3:2101-2133.
- Hamidi, R.M., Z. Man, dan K.A. Azizli. (2016). Concentration of NaOH and the effect on properties of fly ash based geopolymer. *Procedia Engineering* . 148: p. 189-193.
- Hardjito, D. and Rangan, B. V. (2005) 'Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete'
- Gorhan, G. dan G. Kurklu. (2014). The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolymer mortar cured at different temperatures. *Composites Part B: Engineering* 58: p. 371-377.
- Juha, F., Leena, K.-T. & Pyy, P. (2018). *Mass Stabilization As A Ground Improvement Method For Soft Peaty*.
- Kasyanto, H. (2012). Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dengan Aktivator Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat.
- Khan M.Z.N., Shaikh F.U.A, Hao H. (2016). Synthesis of high strength ambient cured geopolymer composite by using low calcium fly ash. *Construction and Building Materials*, vol. 125, pp. 809-820.
- Mehta, A. and Siddique, R. (2017) 'Strength, Permeability and micro-structural characteristics of low-calcium fly ash based geopolymers', *Construction and Building Materials*, 141, pp. 352–334. doi: 10.1088/1757-899X/345/1/012028.
- Meija, J. M. (2015) 'Preparation and characterization of a hybrid alkaline binder based on a fly ash with no commercial value', *Journal of Cleaner Production*, 104, pp. 346–352.
- Molina, A. and Poole, C. (2019) 'A Comparative Study Using Two Methods To Produce Zeolith From Fly Ash', *Minerals Engineering*, 17 (2), pp. 167–173.
- Munro, R. (2004). Dealing with Bearing Capacity Problems on Low Volume Roads Constructed on Peat. *Northern Periphery. ROAD EX II*.p. 5-29, 34-63.
- Oktariyansa, R. (2020). Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Geopolimer Abu Terbang Dengan Tambahan Portland Composite Cement. *Jom FTEKNIK*, pp. 1–10.
- Olivia, M. (2015). Geopolimer sebagai Material Infrastruktur Berkelanjutan di Lingkungan Gambut. *Annual Civil Engineering Seminar*
- Ridtirud, Charoenchai., Leekongbub, Somporn. Chindaprasirt, Prinya. (2018). Compressive strength of soil cement base mixed with fly ash-based geopolymer. *International Journal of GEOMATE*, May Vol. 14 pp. 82-88
- S, N. A. and Respati, R. (2018) 'Stabilisasi Tanah Gambut Palangka Raya Dengan Bahan Campuran Tanah Non Organik Dan Kapur', *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(2), pp. 124–131.
- Subekti, Srie. (2012). *Porositas Binder Geopolimer Dengan Proporsi Campuran Fly Ash Paiton Dan Limbah Tjiwi Kimia*

*Menggunakan Aktivator NaOH.* Jurnal Teknik Sipil KERN Vol. 2 No.1

Wardani, S. P. R. (2008) 'Pemanfaatan limbah batu bara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan', *Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*. doi: 10.3390/su7022189.

Waruwu, A., Susanti, R.D., Endriani, D., dan Hutagaol, S. (2020). Effect of Loading Stage on Peat Compression and Deflection of Bamboo Grid with Concrete Pile. *International Journal of GEOMATE*, 18(66), pp:150-155

Yanuari, R. *et al.* (2020) Mortar Geopolimer Hybrid Abu Sawit ( Palm Oil Fuel Ash / Pofa ), 14(2), pp. 83–90.