

VARIASI MOLARITAS NaOH PADA STABILISASI GEOPOLIMER ABU TERBANG DENGAN TAMBAHAN *PORTLAND COMPOSITE CEMENT*

Randy Oktariyansa¹⁾, Gunawan Wibisono²⁾, Monita Olivia²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email: randy.oktariyansa@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Land as a supporting media for the establishment of structures is an important part to consider. Peat soils have a very low carrying capacity, very high compressibility and others that are not favourable for construction. This study aims to examine the strength of stabilized peat soils using fly ash geopolymers with the addition of PCC cement (Portland Composite Cement). Soil stabilization using geopolymer added ingredients as an alternative in soil improvement in construction. Cement was used from a variation of 20%, 25%, and 30% by weight of the total binder used. The alkaline activator solution used consists of a solution of Sodium Hydroxide (NaOH) and a solution of sodium silicate (Na₂SiO₃), NaOH concentrations used were 10 M, 12 M, and 14 M. Stabilization of peat soils with 7, 28, and 56 days treatment. It is obtained that at the age of 56 days, the compressive strength value of peat soil is 152,3 kPa, 162,55 kPa, 142,02 kPa, respectively at the NaOH concentration of 10M, 12M, 14M. The NaOH molarity influences the compressive strength of the soil stabilized with the geopolymer. The lower the water content of the test material, the higher the compressive strength of the soil.

Keywords : Stabilization, peat soils, geopolymers, fly ash, Portland Composite Cement

1. PENDAHULUAN

Tanah sebagai media pendukung berdirinya struktur jalan atau fondasi jalan, perlu diperhatikan, karena kondisi tanah mempengaruhi stabilitas struktur di atasnya. Data karakteristik tanah sangat diperlukan guna menjamin struktur dapat berdiri dengan baik sesuai perencanaan. Jenis tanah berbeda-beda pada setiap daerah, bisa dilihat dari sifat fisik maupun kimiawinya. Tanah yang perlu mendapat perhatian lebih adalah tanah yang dikategorikan bermasalah. Salah satu jenis tanah bermasalah adalah tanah gambut.

Tanah gambut (*peat soil*) memiliki kadar organik lebih dari 75% (ASTM D-4427,1984) dengan karakteristik berkadar air tinggi, berdaya dukung rendah, berkompresibilitas tinggi, serta bersifat asam (pH rendah) yang

kesemuanya dapat menyebabkan masalah untuk konstruksi yang dibangun di atasnya.

Pada tahun 1994, Professor Joseph Dovidovits mengembangkan sebuah penelitian material perekat pengganti semen yang dikenal dengan istilah geopolimer. Bahan utama dari geopolimer menggunakan limbah hasil industri yang kaya dengan silika dan alumina. Pengaktifan kedua senyawa tersebut menggunakan larutan aktivator seperti NaOH (*Sodium hidroksida*) dan Na₂SiO₃ (*Sodium silikat*).

Dalam rangka pengembangan kawasan bergambut, umumnya diperlukan prasarana jalan. Pada kenyataannya jalan di atas lahan gambut banyak bermasalah, seperti permukaan jalan bergelombang, penurunan yang besar, serta kelongsoran tepi jalan. Riau

merupakan salah satu Provinsi di Indonesia yang jaringan jalannya banyak berada di atas tanah gambut, mengalami beberapa masalah di atas. Diperlukan usaha perbaikan tanah gambut untuk mengurangi kendala tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap kuat tekan tanah gambut distabilisasi dengan semen PCC pada umur 7, 28 dan 56 hari.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Gambut

Tanah gambut atau yang lebih dikenal dengan nama *Peat Soil* adalah tanah yang mempunyai kandungan organik cukup tinggi dan pada umumnya terbentuk dari campuran fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang telah berubah sifatnya menjadi fosil. Van de Manne (1982) menyatakan tanah gambut terbentuk sebagai hasil proses penumpukan sisa tumbuhan rawa lainnya. Gambut Indonesia merupakan jenis gambut tropis dengan luas area tanah gambut mencapai kurang lebih 15,69 juta hektar (Wijaya dkk, 1991) yang sebagian besar terdapat di pulau Sumatra, Kalimantan, dan Papua dengan variasi kedalaman yang berbeda serta merupakan areal gambut terbesar ketiga di dunia.

Tanah gambut merupakan bahan yang representatif dari tanah lunak dan diklasifikasikan sebagai tanah yang sangat banyak mengandung organik. Secara umum, gambut terdiri dari bahan yang memiliki organik yang berserat, yaitu sebagian tanaman yang terurai seperti daun dan batang. Gambut sebagian besar memiliki residu tanaman organik, yang tidak terurai sempurna karena kekurangan oksigen (Erwin et al., 2019). Telah disebutkan bahwa gambut menunjukkan sifat geoteknis yang unik

sebagai perbandingan tanah an-organik seperti tanah lempung dan tanah berpasir yang hanya terdiri dari partikel.

Gambut memiliki karakteristik tertentu yang membedakannya dari tanah mineral dan memerlukan pertimbangan khusus. Beberapa karakteristik adalah, kadar air alami yang tinggi hingga 800%, kompresibilitas tinggi termasuk kompresi sekunder dan tersier yang signifikan, kekuatan geser rendah (biasanya 5-20 kPa), variabilitas spasial tingkat tinggi, dan potensi untuk penguraian lebih lanjut sebagai akibat dari perubahan kondisi lingkungan (Erwin et al., 2019).

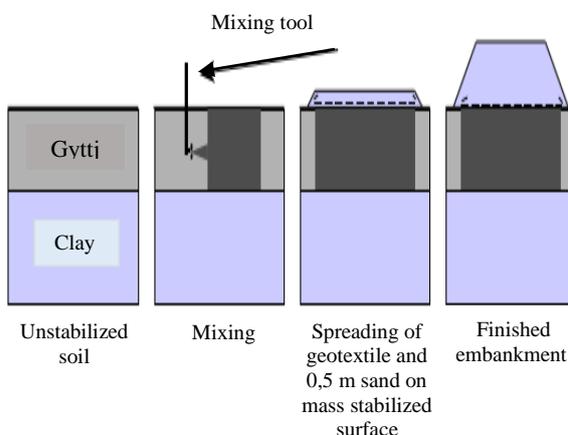
Gambut terdiri dari berbagai macam jenis jika dilihat dari berbagai sudut pandang diantaranya sebagai berikut. Menurut tingkat kematangan, gambut dibagi menjadi, a) Gambut saprik (matang), yaitu gambut yang melapuk dan bahan asalnya sudah tidak bisa dikenali. Berwarna cokelat tua hingga hitam dan berdasarkan ASTM D 4427 kadar seratnya sebesar <33%; b) Gambut hemik (setengah matang), yaitu gambut setengah lapuk dan sebagian bahan induknya masih bisa dikenali. Berwarna cokelat dengan kadar serat sebesar 33-67%; c) Gambut fibrik (mentah), yaitu gambut yang belum melapuk dan bahan induknya bisa dikenali dengan mudah. Berwarna cokelat dan belada serat sebesar >67 %.

2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut agar memperbaiki sifat teknis tanah itu sendiri, seperti sifat kompresibilitas, kapasitas dukung, kemudahan dalam mengerjakannya, sensitifitas terhadap kadar air yang berubah, serta pengembangan yang

terjadi pada tanah. Tujuan stabilisasi adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau fondasi jalan yang padat.

Stabilisasi massal adalah teknik penguatan tanah di mana agen stabilisasi dicampur ke seluruh lapisan tanah. Berbeda dengan metode pencampuran yang dalam, ini menghasilkan blok stabil. Stabilisasi mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas tanah. Stabilisasi masal memungkinkan lapisan tanah yang gembur untuk digunakan dan bukannya dibuang. Ini juga mengurangi ekstraksi dan pengangkutan kerikil alami dan isi lainnya. Sampai saat ini, pencampuran telah dilakukan dengan alat yang dipasang pada ekskavator. Alat berat ekskavator yang digunakan telah dilakukan proses modifikasi untuk memudahkan pengerjaan dan memasukkan bahan campuran stabilisasi kedalam tanah. Geotextile kemudian tersebar di permukaan yang stabil, diikuti oleh lapisan batu kerikil gravel dengan ketebalan 0,5 m yang memadat material yang distabilkan dan juga digunakan untuk membentuk permukaan kerja untuk ekskavator. Dapat dilihat pada Gambar 1.



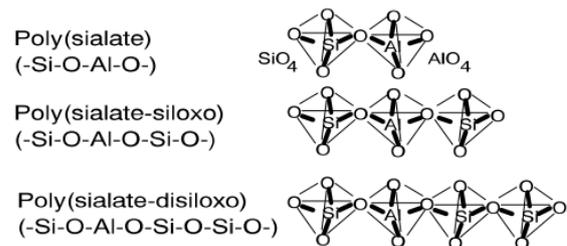
Gambar 1. Stabilisasi Massa
Sumber: Axelsson (2002)

Pada tahun 1997 metode ini telah digunakan di lebih dari sepuluh proyek di Swedia dan Finlandia, terutama di jalan dan rel kereta api. Pengikat yang digunakan dalam proyek-proyek ini terdiri dari semen dan campuran semen dan berbagai jenis residu industri. Tanah lembam seperti pasir juga dapat dicampur dengan semen, dan berbagai garam dapat ditambahkan untuk mengontrol reaksi stabilisasi.

2.3 Geopolimer

Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO_4 dan AlO_4 yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1994). Saat SiO_2 dan Al_2O_3 terikat secara tetrahedral dengan berbagi atom oksigen, harus ada ion positif (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^{++}) dalam lubang kerangka untuk menyeimbangkan muatan negative dari Al^{3+} dalam bentuk koordinasi IV.

Berikut struktur tiga dimensi polysialate amorf hingga semikristalin yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur tiga dimensi
Polysialate

Sumber: Davidovits (1994)

Secara umum, geopolimer memiliki bentuk dasar polysialate dengan rumus empiric $M_n(-(\text{SiO}_2)_z-\text{AlO}_2)_n, \text{H}_2\text{O}$, dimana M_n adalah elemen alkali atau *potassium* (K^+), *sodium* (Na^+) atau *kalsium* (Ca^{2+}), n adalah derajat

polimerisasi, z adalah 1, 2, 3. Polisialate memiliki fase amorf hingga semi kristalin.

Stabilisasi tanah menggunakan bahan tambah geopolimer ini sebagai suatu alternatif dalam perbaikan tanah dalam suatu konstruksi. Tanah gambut banyak mengandung kadar organik yang tinggi perlu adanya pozzolan yang tinggi untuk menstabilkan. Geopolimer juga bisa digunakan dalam menstabilkan tanah gambut dengan menggunakan tambahan PCC yang bisa menaikkan reaksi *pozzolamic*. Proses melakukan stabilisasi tanah geopolimer dengan tambahan PCC dapat mempermudah dalam proses pengerasan tanah atau mencapai pengoptimalisasi suatu kekuatan pada suhu ruang dalam jangka pendek.

2.4 Geopolimer Hybrid

Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO_4 dan AlO_4 yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1994). Material hibrida merupakan suatu materi yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang berbeda.

2.5 Abu Terbang

Klasifikasi abu terbang terbagi menjadi 3 kelas diantaranya kelas C, kelas N, dan kelas F (ASTM C 618-05). Klasifikasi ini digunakan untuk mempermudah dalam melakukan pengelompokan abu terbang yang beranekaragam. Abu terbang kelas C memiliki kandungan kalsium tinggi >10%. Sedangkan nilai silika, alumina dan besi oksida berada pada batasan 50%-70%. Abu terbang kelas N merupakan dari proses alami yang terbentuk dari aktivitas alam seperti gunung meletus. Kandungan abu terbang

kelas N untuk silika+alumina+besi oksida melebihi 70%.

Abu terbang kelas F memiliki kandungan yang rendah kalsium. Abu terbang ini di dominasi oleh kandungan silika+alumina+besi oksida lebih dari 70%. Abu terbang kelas F banyak ditemukan dari sisa pembakaran batu bara dan memiliki sifat pengikat pozzolanik layaknya semen. Oleh karena itu, abu terbang kelas F dapat digunakan sebagai material geopolimer.

2.6 Semen PCC

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang berupa *kalsium silikat* yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium *sulfat* dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004).

Senyawa Portland ini digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus yaitu: a) Tidak memerlukan ketahanan sulfat; b) Tidak memerlukan persyaratan panas hidrasi; c) Tidak memerlukan kekuatan awal yang tinggi.

2.7 Sifat Fisik Tanah

Berat volume tanah adalah perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah. Seperti sifat tanah yang lainnya, berat volume mempunyai variabilitas spasial (ruang) dan temporal (waktu). Berat tanah yang mudah mengembang dan mengerut, berat volume akan berubah-ubah seiring dengan berubahnya kadar air tanah. Tanah dengan bahan organik yang tinggi mempunyai berat volume relatif rendah. Tanah dengan ruang pori yang tinggi, seperti tanah liat cenderung mempunyai berat volume yang rendah. Komposisi

mineral tanah, seperti dominannya mineral dengan berat jenis partikel tinggi di dalam tanah, menyebabkan berat volume tanah menjadi lebih tinggi. Pengujian berat volume ini terdapat ASTM D 2167.

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir-butir dengan berat air destilasi diudara dengan volume yang sama pada temperatur 27,5°C berdasarkan ASTM D 854. Berat jenis tanah diperlukan untuk berbagai keperluan perhitungan mekanika tanah dan sebagian besar mineral dalam tanah mempunyai massa jenuh.

Kadar serat gambut adalah komposisi serat penyusun butir-butir gambut dengan berat butir-butir gambut berdasarkan ASTM D 1997. Tanah gambut berserat mempunyai sifat fisik kurang baik. Sehingga tanah gambut akan memberikan masalah jika dijadikan fondasi bagi bangunan sipil jika tidak dilakukan perbaikan tanah.

Kadar abu gambut adalah perbandingan berat tanah gambut abu dengan berat tanah gambut kering dalam bentuk persen berdasarkan ASTM D 2974. Kadar organik gambut adalah tanah yang mengandung organik pada tanah gambut.

Unconfined Compressive Strength adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan bebas dari tanah dan campuran. Penyebaran tegangan di dalam sampel tanah secara teoritis adalah searah dengan gaya yang dikenakan pada sampel tersebut karena ada pengaruh tekanan dari alat pengujian yang menghimpit sampel, sehingga bentuk pecahan tidak terbentuk bidang pecah yang searah dengan gaya melainkan kerucut *cone*. Perbandingan antara tinggi dan diameter sampel (l/d) mempengaruhi nilai kuat tekan tanah. Ukuran sampel pengujian kuat tekan yang digunakan yaitu $2 < l/d < 2,5$.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau. Bahan-bahan yang digunakan adalah tanah, abu terbang, semen PCC dan larutan aktivator.

Tanah yang digunakan adalah tanah gambut yang diambil dari daerah desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. Pengambilan contoh tanah terganggu (*disturb sample*). Tanah dikeringkan/ dipanaskan ke dalam oven, setelah itu disaring dan diambil tanah yang lolos saringan No. 4 (4,75mm).

Abu terbang yang digunakan berasal dari PT PLTU Ombilin, Padang. Sebelum digunakan, abu terbang terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 °C dan mencapai berat tetap, kemudian diayak menggunakan saringan No.200 dalam kondisi kering. Karakteristik kimia abu terbang di uji menggunakan SNI 15-2049-2004.

Semen PCC berasal dari PT Semen Padang. Semen digunakan dari variasi 20%, 25%, dan 30% dari berat keseluruhan bahan pengikat yang digunakan. Untuk membuat geopolimer memiliki batasan, yaitu tidak melebihi 30% semen dari berat sampel tanah kering. Maka dari itu dalam penelitian ini menggunakan komposisi semen dengan 20%, 25% dan 30%. Pada penelitian ini, tidak dilakukan pengujian khusus untuk mengetahui karakteristik kimia maupun fisik bahan semen. Karakteristik diambil dari data penelitian terdahulu.

Larutan alkali aktivator yang digunakan terdiri dari larutan sodium hidroksida (NaOH) dan larutan sodium silikat (Na_2SiO_3). NaOH merupakan aktivator yang paling sering digunakan pada sintesis geopolimer, selain

harganya yang murah, NaOH juga tersedia banyak dan memiliki kekentalan yang rendah. Konsentrasi NaOH berpengaruh pada peningkatan molaritas NaOH.

Na_2SiO_3 (Sodium Silikat) merupakan sejumlah rasio yang memungkinkan untuk dapat digunakan pada berbagai jenis aplikasi dalam industri. Secara komersial larutan sodium silikat memiliki rasio dari 1,60 sampai 2,85. Dari beberapa penelitian sodium silikat dan natrium hidroksida sebagai larutan alkali menghasilkan kekuatan yang optimum dalam membentuk ikatan geopolimer (Provis dan Deventer, 2014).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Fisik Gambut

Hasil pemeriksaan tanah gambut Rimbo Panjang yang dilakukan di Laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1.

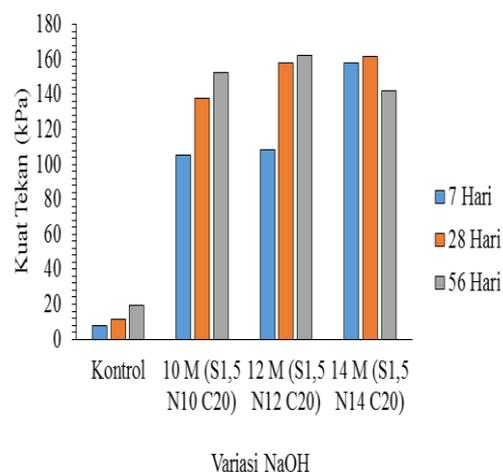
Tabel 1 Karakteristik Fisik Tanah Gambut Rimbo Panjang

Pengujian	Nilai
Kadar air tanah asli (w), %	204,08
Berat volume tanah (γ), kN/m^3	10,89
Berat volume kering (γ_{max}), kN/m^3	2,93
Berat jenis (<i>Specific gravity</i>)	1,78
Kadar serat, %	7,07
Kadar organik, %	77,01
Kadar abu, %	22,99

4.2 Pengaruh NaOH

Pengujian kuat tekan tanah dengan perbandingan NaOH yang digunakan dalam proses stabilisasi tanah gambut pada umur perawatan 7, 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa perbandingan menggunakan molaritas NaOH, dimana semakin tinggi molaritas yang digunakan maka akan semakin bagus karena kandungan air yang digunakan sedikit dalam proses melarutkan butiran NaOH. Kepekatan berhubungan dengan banyaknya air yang digunakan. Oleh

sebab itu, jumlah air yang berada dalam rongga geopolimer 14 M lebih sedikit jika dibandingkan dengan 10 M.



Gambar 3. Hasil Pengujian UCS.

Pada Gambar 3 Menggunakan konsentrasi NaOH 10M menjadikan kekuatan benda uji rendah di umur 7 hari sebesar 105,54 kPa. Selama umur perawatan dilakukan mengalami kenaikan, yaitu umur 28 hari sebesar 137,81 kPa dan di umur perawatan 56 hari sebesar 152,3 kPa.

Konsentrasi NaOH 12M juga sama seperti konsentrasi NaOH 10M, selalu mengalami kenaikan kekuatan pada benda uji setiap umur perawatan yang telah direncanakan. Pengujian benda uji di umur 7 hari sebesar 108,18 kPa, umur perawatan 28 hari 157,76 kPa dan umur perawatan 56 hari 162,55 kPa.

Konsentrasi NaOH 14M dengan perawatan umur 7 dan 28 hari mengalami kenaikan kekuatan pada benda uji, tetapi di umur perawatan 56 hari kekuatan sampel mengalami penurunan yang diakibatkan dari kandungan kadar air pada sampel benda uji meningkat besar, dan γ_d kecil dari pada γ_d di umur 7 dan 28 hari. Sehingga membuat kekuatan benda uji menjadi turun.

Larutan sodium hidroksida yang digunakan beberapa penelitian terdahulu banyak menggunakan konsentrasi NaOH 14M diantaranya Hardjito (2005), Adam (2009), Olivia (2011) dan Nath (2015). Namun peneliti lainnya, menemukan konsentrasi NaOH optimum adalah 12M (Al Bakri et al., 2012), Oleh karena itu perlu dilakukan peninjauan kembali konsentrasi NaOH optimum terhadap geopolimer abu terbang terkhusus dari PT. PLTU Ombilin Padang (Rizaldi et al., 2018).

Larutan *sodium hidroksida* (NaOH) berfungsi mereaksikan unsur silika dan alumina yang terkandung dalam abu terbang sehingga terbentuk ikatan polimerik (*polysialate*) yang kuat. Anion OH⁻ diperlukan untuk pemutusan rantai silika dan alumina pada abu terbang, sehingga ikatan Si-OH dan Al-OH yang disebut *sialate*. Sedangkan kation Na⁺ akan bereaksi dan membentuk rantai *poly(sialate)*. Secara teori ikatan polimerik akan semakin kuat dengan meningkatnya konsentrasi NaOH (Olivia et al., 2016).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah:

1. Penggunaan bahan tambah NaOH dan Na₂SiO₃ dapat meningkatkan kekuatan pada tanah.
2. Nilai kuat tekan optimum dengan menggunakan kepekatan NaOH yang digunakan 12 M dengan perawatan 56 hari dan komposisi campuran S1,5 N12 C20 sebesar 162,55 kPa.
3. Tingginya nilai kuat tekan pada tanah dipengaruhi dari kandungan kadar air. Semakin rendah kadar air pada tanah maka nilai kuat tekan pada tanah semakin tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran:

1. Memperhatikan pengaruh dari perawatan dan pembebanan.
2. Melakukan pengkajian lebih lanjut untuk mempertahankan kadar air pada masa perawatan yang telah dilakukan.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Al Bakri, A. M. M., Kamarudin, H., Bnhussain, M., Nizar, I. K., Rafiza, A. R., & Zarina, Y. (2012). the Processing, Characterization, and Properties of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. *Adv. Mater. Sci*, 30, 90–97.
- ASTM C 618-05. (2010). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raws or Calined Natural Pozzolan for use. Annual Book of ASTM Standards*, (C)
- ASTM D 1997-91. (1996). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of the Fiber Content of Peat Samples by Dry Mas. Annual Book of ASTM Standards*
- ASTM D 2167-94. (1994). *Standard Test Methods for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Ballon Method. Annual Book of ASTM Standards*
- ASTM D 2947-87. (1993). *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. Annual Book of ASTM Standards*
- ASTM D 854-14. (2002). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Annual Book of ASTM Standards*

- Axelsson, Karin. (2002). *Stabilization of Organic Soils by Cement and Pozzolanic Reaction*. Swedish : Svensk Djupstabilisering
- Davidovits, Joseph. (1994). *Properties of geopolimer cements. Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*. pp.131-149.
- Deboucha S., Hashim R., & Alwi A. (2008). *Engineering Properties of Stabilized Tropical Peat Soils*. University of Malaya, Malaysia and Universitas Tanjungpura, Indonesia.
- Erwin et al., (2019). *Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Geopolimer Hybrid*
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Curtin University.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete. Research report GC*. Perth.
- Huat, B.B.K., Kazemian, S., Kuang, W.L. (2011). *Effect of Cement Sodium Silicate Grout and Kaolinite On Undrained Shear Strength Of Reinforced Peat*. EJGE : 16 : 1221-1228
- Nath, P., & Sarker, P. K. (2015). *Use of OPC to Improve Setting and Early Strength Properties of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete Cured at Toom Temperature. Cement and Concrete Composites*, 55, 205–214.
- Olivia, Monita. (2011). *Durability Related Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Australia : Curtin University
- Olivia, M., Wulandari, C., Sitompul, I. R., Darmayanti, L., & Djauhari, Z. (2016). *Study of Fly Ash (FA) and Palm Oil Fuel Ash (POFA) Geopolymer Mortar Resistance in Acidic Peat Environment. Material Science Forum*, 841, 126–132.
- Rizaldi, Niko et al., (2018). *Pengaruh Konsentrasi Naoh Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Dengan Perawatan Suhu Ruang*. Riau : Universitas Riau
- Wijaya, Adhi et.al. (1992), in Yulianto, F.E dan Mochtar NE. (2009), "Penggunaan Campuran Kapur (*Lime*) dan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Gambut Untuk Konstruksi Jalan". Dipublikasi sebagai Thesis program S2 Geoteknik Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Van De Meene (1984), "Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian MalyasinLowlands", *Bulletin Geological Research and Development Centre*, 9, 20-31.