



Studi Parametrik Kekuatan Tanah Gambut Distabilisasi dengan Geopolimer Abu Terbang Hibrid

Gunawan Wibisono¹, Randy Oktariyansa², Monita Olivia³

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru ^{1,2,3}

E-mail: g.wibisono@eng.unri.ac.id

Abstrak

Tanah gambut merupakan tanah lunak berserat yang terdapat di wilayah Provinsi Riau. Gambut memiliki kadar air tinggi, kompresibilitas tinggi dan daya dukung rendah. Stabilisasi tanah gambut merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kualitas daya dukung sehingga dapat mendukung beban di atasnya. Teknik stabilisasi yang umum dilakukan berupa stabilisasi fisik, maupun kimia dengan mereaksikan tanah gambut menggunakan bahan lain seperti geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh beberapa parameter geopolimer abu terbang hibrid pada daya dukung tanah gambut hasil stabilisasi. Parameter yang dikaji yaitu modulus silikat ($M_s = 1,5-2,5$), molaritas natrium hidroksida/NaOH (10-14M), dan persentase semen PCC (Portland Composite Cement) sebesar 20-30%. Delapan campuran dengan berbagai variasi parameter geopolimer abu terbang hibrid dikaji melalui kekuatan tanah gambut hasil stabilisasi (Unconfined Compressive Strength/UCS) pada umur 7, 28 dan 56 hari. Berdasarkan studi parametrik dapat dilihat bahwa daya dukung tanah gambut distabilisasi dengan geopolimer hibrid dipengaruhi oleh peningkatan kadar modulus silikat, molaritas natrium hidroksida, dan persentase semen Portland di dalam campuran. Parameter optimum hasil stabilisasi tanah gambut dengan geopolimer abu terbang hibrid untuk mendapatkan kuat tekan tinggi adalah rasio $M_s = 2,0$, NaOH dengan molaritas 12M, dan persentase semen Portland sebesar 30%.

Kata kunci: gambut, geopolimer, natrium hidroksida, parametrik, stabilisasi.

Abstract

Peat soil is soft fibrous soil found in Riau Province. Peat has high moisture content, high compressibility and low bearing capacity. Peat soil stabilization is one way to improve the quality of the bearing capacity so that it can support the load above it. Common stabilization techniques include physical and chemical stabilization by reacting peat soil with other materials such as geopolimer. This study aims to assess the effect of several hybrid fly ash geopolimer parameters on the bearing capacity of stabilized peat soil. The parameters studied were silicate modulus ($M_s = 1.5-2.5$), sodium hydroxide/NaOH molarity (10-14M), and PCC (Portland Composite Cement) percentage of 20-30%. Eight mixtures with various hybrid fly ash geopolimer parameters were assessed through stabilized peat soil strength (Unconfined Compressive Strength/UCS) at 7, 28 and 56 days. Based on the parametric study, it can be seen that the bearing capacity of peat soil stabilized with hybrid geopolimer is affected by the increase of silicate modulus content, sodium hydroxide molarity, and percentage of Portland cement in the mixture. The optimum parameters for peat soil stabilization with hybrid fly ash geopolimer to obtain high compressive strength are M_s ratio = 2.0, NaOH with a molarity of 12M, and a percentage of Portland cement of 30%.

Keywords: peat, geopolimer, sodium hydroxide, parametric, stabilization.



1. PENDAHULUAN

Tanah gambut dikategorikan tanah lunak yang banyak mengandung serat. Secara umum tanah gambut memiliki kekuatan rendah, memiliki kandungan air lebih dari 300%, memiliki kandungan organik tinggi, dan kompresibilitas tinggi (Ma'ruf & Yulianto, 2016). Berbagai pembangunan infrastruktur di tanah gambut tetap harus dikembangkan meskipun tanah tersebut tidak dapat digunakan langsung tanpa perbaikan. Pondasi dan berbagai struktur yang dibangun di tanah gambut perlu menggunakan teknik perbaikan fisik dan kimia. Perbaikan fisik untuk tanah gambut dapat menggunakan material geotekstil, kayu, ban bekas dan bambu (Nugraha et al., 2019; Gunawan et al., 2016). Sedangkan perbaikan kimiawi menggunakan bahan pengikat yang bereaksi secara kimia dengan tanah gambut. Perbaikan tanah gambut secara kimiawi menggunakan metode stabilisasi untuk memperbaiki sifat tanah di lapangan sehingga tidak memerlukan penggalian tanah gambut dan penggantian dengan tanah jenis lain. Teknik stabilisasi yang umum digunakan untuk tanah gambut adalah stabilisasi massa (Sha'abani & Kalantari, 2012). Pada teknik ini dilakukan pencampuran bahan pengikat dengan tanah dalam volume besar agar tanah yang distabilisasi menjadi lebih homogen.

Stabilisasi tanah gambut secara kimia menggunakan bahan pengikat mineral konvensional dan non-konvensional dari limbah industri. Penggunaan bahan pengikat konvensional seperti semen dan kapur telah banyak dikaji (Sitorus et al., 2022; Anggraini et al., 2021), akan tetapi pada umumnya tidak mencapai kekuatan tanah yang tinggi. Tanah gambut mengandung kadar organik tinggi dalam bentuk berbagai asam organik seperti asam humat dan fulvat sehingga dapat mengganggu proses stabilisasi (Janz & Johansson, 2002). Kadar organik pada tanah gambut dapat menunda proses hidrasi semen dan mengganggu reaksi kimia lanjutan sehingga tanah hasil stabilisasi memiliki kekuatan rendah. Penggunaan material non-konvensional seperti terak, abu sawit, abu terbang, dan abu sekam untuk stabilisasi tanah gambut menghasilkan kekuatan tanah yang lebih baik (Artiwi, 2019; Cakrawisnu et al., 2022). Peningkatan kekuatan menggunakan bahan non-konvensional secara bertahap disertai kandungan CaO lebih rendah menjadikan proses hidrasi berjalan lebih lambat dibandingkan menggunakan semen atau kapur.

Geopolimer merupakan salah satu bahan non-konvensional untuk stabilisasi tanah gambut. Bahan geopolimer dibuat dari reaksi antara bahan dasar yang mengandung SiO_2 dan Al_2O_3 dengan larutan pengaktif berasal dari campuran natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) (Davidovits, 1994). Stabilisasi tanah lunak atau tanah ekspansif menggunakan geopolimer telah banyak dilakukan untuk memperbaiki kekuatan (Nanda & Priya, 2024). Secara umum kekuatan tanah hasil stabilisasi tanah lunak dengan geopolimer menyebabkan peningkatan UCS/*Unconfined Compressive Strength* sebesar 1-9 MPa dari umur pemeraman 7-28 hari (Parthiban et al., 2022). Penggunaan geopolimer tanpa untuk stabilisasi tanah gambut juga telah dikaji sebelumnya. Peningkatan kekuatan UCS terjadi untuk campuran dengan molaritas NaOH sebesar 10M, rasio larutan pengaktif dengan pengikat sebesar 0,75, serta konsentrasi pengikat sebesar 20% (Santhikala et al., 2022). Kekuatan bahan yang ditambahkan geopolimer ditentukan oleh komposisi SiO_2 dan Al_2O_3 pada bahan dasar, perbandingan larutan pengaktif $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$ atau Ms, molaritas NaOH , dan suhu perawatan yang tinggi untuk mempercepat pengerasan (Parthiban et al., 2022). Kekuatan stabilisasi tanah menggunakan geopolimer pada umur awal dapat dipercepat dan ditingkatkan dengan menambahkan semen Portland. Geopolimer yang dicampur semen Portland disebut geopolimer abu terbang hibrid untuk mengurangi penggunaan suhu tinggi (Garcia-Loreido et al., 2016), dan telah dikaji untuk stabilisasi tanah gambut

menggunakan persentase semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) (Wibisono et al., 2019). Parameter optimum untuk mendapatkan kuat tekan tanah gambut yang tinggi hasil stabilisasi geopolimer hibrid belum pernah dikaji sebelumnya. Pada penelitian ini akan dilakukan studi parametrik geopolimer hibrid untuk stabilisasi tanah gambut menggunakan parameter rasio Ms (larutan pengaktif NaOH/Na₂SiO₃), molaritas NaOH, dan persentase semen Portland. Uji UCS/*Unconfined Compressive Strength* dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tanah gambut yang distabilisasi dengan geopolimer hibrid.

2. METODE PENELITIAN

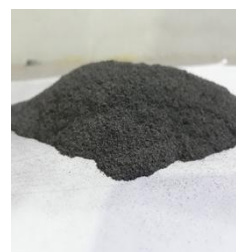
Tanah gambut sebagai bahan utama berupa sampel tanah terganggu diambil dari daerah Rimbo Panjang, kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Abu terbang merupakan bahan dasar geopolimer hibrid diperoleh dari PLTU Ombilin, Ombilin, Sumatera Barat. Semen Portland berasal dari pabrik semen di Provinsi Sumatera Barat. Komposisi kimia abu terbang dan semen PCC (*Portland Composite Cement*) berdasarkan hasil pengujian XRF (XRay Flourescence) dapat dilihat di Tabel 1. Abu terbang memiliki kandungan silika sebesar 59.25%, alumina 29.25% dan LOI yang tinggi sebesar 18.89%. Larutan aktivator geopolimer hibrid berupa gabungan natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃). Natrium hidroksida dengan konsentrasi 10, 12, dan 14 Molar dibuat dengan mencampurkan akuades dengan serbuk NaOH padat. Natrium silikat (Na₂SiO₃) memiliki Na₂O sebesar 14,5%, SiO₂% sebesar 31.8%, air sebanyak 53,7%, dan rasio SiO₂/Na₂O adalah 2,19.

Tabel 1. Komposisi kimia abu terbang dan semen PCC

Oksida (%)	Abu Terbang	Semen PCC
SiO ₂	59,25	25,06
Al ₂ O ₃	29,25	4,13
Fe ₂ O ₃	5,45	3,12
CaO	1,54	52,96
K ₂ O	2,23	0,45
LOI/ <i>Loss of Ignition</i>	18,89	1,73



(a)



(b)

Gambar 1. Bahan yang digunakan (a) tanah gambut (b) abu terbang

Tabel 2. Rancangan parameter campuran geopolimer hibrid abu terbang

Mix	Ms	Molaritas NaOH	% PCC	Pemeraman (hari)
1	1,5	10	20	7, 28 56
2	2,0	10	20	7, 28 56
3	2,5	10	20	7, 28 56
4	1,5	12	20	7, 28, 56
5	1,5	14	20	7, 28, 56
6	1,5	10	25	7, 28, 56
7	1,5	10	30	7, 28, 56

Pada penelitian ini, telah dikaji satu set rancangan parameter campuran geopolimer hibrid. Parameter yang digunakan adalah rasio modulus silikat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$), molaritas NaOH dan persentase semen PCC (*Portland Composite Cement*). Modulus silikat yang dipelajari sebesar 1,5, 2,0 dan 2,5), molaritas NaOH yakni 10, 12 dan 14M; dan persentase semen PCC sebesar 20, 25 dan 30%. Parameter tersebut diperoleh dari nilai optimum yang digunakan untuk campuran geopolimer hibrid (Rizaldi et al., 2020; Wijaya et al., 2019; Olivia et al., 2022). Tabel 2 menunjukkan rancangan parameter geopolimer hibrid yang terdiri dari tujuh campuran dengan satu campuran memiliki satu parameter tetap dan parameter lainnya berubah. Campuran kontrol yakni mix 1 dengan parameter Ms sebesar 1,5, NaOH sebesar 10M dan persentase PCC sebesar 20%. Komposisi campuran geopolimer hibrid dihitung menggunakan rancangan parameter pada Tabel 2. Tabel 3 menunjukkan kuantitas bahan yang diperlukan dalam kajian ini.

Tabel 3. Komposisi campuran geopolimer hibrid

Mix	Tanah Gambut (gr)	Semen (gr)	Abu Terbang (gr)	NaOH (gr)	Na_2SiO_3 (gr)	Air (gr)
1	2267,3	453,5	340,1	181,4	272,1	2494,1
2	2267,3	453,5	340,1	181,4	362,7	2494,1
3	2267,3	453,5	340,1	181,4	453,4	2494,1
4	2267,3	453,5	340,1	181,4	272,1	2494,1
5	2267,3	453,5	340,1	181,4	272,1	2494,1
6	2267,3	566,8	340,1	181,4	272,1	2494,1
7	2267,3	680,2	340,1	181,4	272,1	2494,1

Pembuatan benda uji dilaksanakan menggunakan metode Allu untuk metode stabilisasi massa sesuai dengan kondisi di lapangan (Allu, 2015). Tanah gambut lolos saringan no. 4 dikeringkan dan dipanaskan di dalam oven. Abu terbang dikeringkan menggunakan oven sampai mencapai berat tetap, setelah itu diayak menggunakan saringan no. 200. Sampel dibuat dari tanah gambut dalam kondisi kering yang dicampur dengan abu terbang dan larutan aktivator sesuai dengan komposisi pada Tabel 3.



(a)



(b)

Gambar 2. Pembuatan benda uji (a) pencampuran tanah gambut dengan larutan aktivator (b) pemeraman benda uji

Campuran tanah gambut dengan bahan pengikat pada tahap sebelumnya diaduk merata lalu dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang telah diberi alas kain (Gambar 2a). Silinder dibagi menjadi tiga lapis, dan benda uji untuk tiap bagian ditusuk sebanyak 15 kali setiap lapis. Setelah itu bagian atas benda uji diberi beban silinder besi berukuran 5x10 cm sehingga menghasilkan beban sebesar 9 KPa. Benda uji diperam dengan cara meletakkan pada rak sampel dan mendingkannya hingga waktu pengujian pada umur 7, 14, dan 28 hari (Gambar 2b). Selama pemeraman, bagian bawah silinder diberi wadah dan diisi air agar kadar air tetap terjaga. Pemeriksaan kadar air dilakukan setelah pengujian UCS/*Unconfined Compressive Strength* pada bagian atas, tengah dan bawah benda uji.

Pengujian UCS dilakukan dalam kondisi *undrained* (cu) menggunakan alat mesin penetrasi berkapasitas 4,45-ton dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm/menit. Sampel dengan tinggi 15cm dipotong, ditimbang dan diletakkan pada alat untuk menguji. Beban ditekan di atas sampel dengan kecepatan 0,5-2% per menit terhadap tinggi benda uji. Setelah terjadi patahan dan penurunan sebesar 20% pada sampel setelah diberi beban, maka pengujian dihentikan. Benda uji sebanyak tiga buah digunakan untuk tiap campuran. Kadar air dan kepadatan tanah tiap sampel ditentukan lalu hasil akhir berupa nilai rata-rata dari tiga sampel.

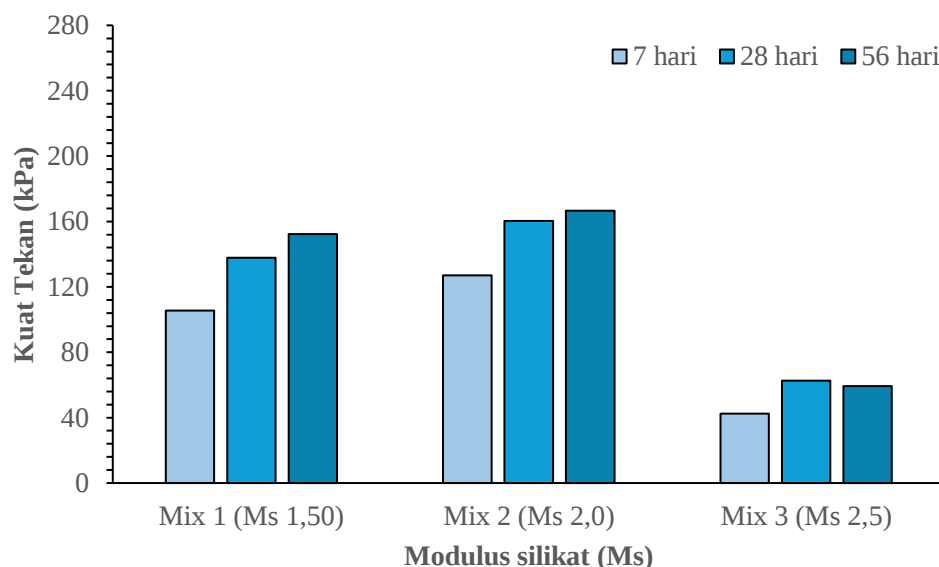
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Modulus Silikat (M_s)

Pengaruh modulus silikat (M_s) pada uji tekan bebas tanah gambut hasil stabilisasi geopolimer hibrid setelah pemeraman selama 7, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 3. M_s merupakan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ atau perbandingan natrium silikat dengan natrium hidroksida. Mix 1, 2 dan 3 memiliki nilai modulus silikat berbeda-beda sebesar 1,5; 2,0, dan 2,5. Secara umum kuat tekan semua campuran tanah gambut dengan geopolimer hibrid meningkat setelah pemeraman selama 7, 28 dan 56 hari, kecuali Mix 3. Mix 3 mengalami penurunan kuat tekan

sebesar 7,8% pada 56 hari. Selain itu Mix 3 memiliki kuat tekan tanah dalam rentang 42,56-62,54 kPa dibandingkan dengan Mix 1 dan 2 yang memiliki rentang kuat tekan sebesar 105, 54-166,64 kPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan modulus silikat sebesar 2,5 menyebabkan proses geopolimerisasi tanah gambut lebih lambat dan tidak reaktif karena kandungan silikat (SiO_2) yang tinggi menghasilkan perekat lebih banyak tetapi tidak menjadikan ikatan geopolimer tanah gambut lebih kuat.

Pada Mix 1 dan 2, dapat dilihat bahwa kuat tekan tanah terus naik secara bertahap sebesar 30,58% dan 26,16% pada umur pemeraman 28 hari. Pada umur 56 hari, kenaikan nilai tekan Mix 1 dan 2 menjadi lebih signifikan yakni sebesar 44,31% dan 31,09%. Hal ini disebabkan oleh proses geopolimerisasi berjalan lebih cepat dan reaktif pada campuran dengan Ms 1,5-2,0 karena terjadi peningkatan kuat tekan. Kekuatan tekan tanah gambut tertinggi setelah distabilisasi oleh geopolimer hibrid ditunjukkan oleh Mix 2 dengan rentang nilai sebesar 127,12 sampai 166,64 kPa. Penggunaan Ms = 2,0 merupakan perbandingan modulus yang cukup banyak digunakan dalam campuran geopolimer hibrid (Rizaldi et al., 2020). Hasil penelitian pada beton yang menggunakan geopolimer hibrid, peningkatan kekuatan tekan terjadi pada campuran yang menggunakan Ms = 1,5-2,5 karena terjadi peningkatan jumlah silikat (SiO_2) yang berfungsi sebagai perekat dalam geopolimer (Olivia et al., 2022). Akan tetapi pada penelitian ini, Ms optimum sebesar 2,0 yang dapat meningkatkan kekuatan tekan tanah gambut distabilisasi dengan geopolimer hibrid.



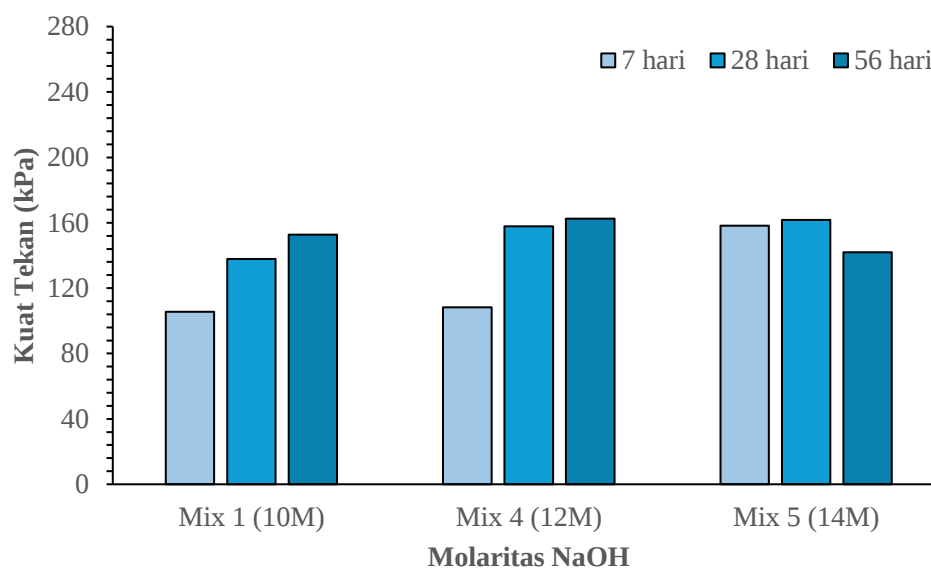
Gambar 3. Pengaruh modulus silikat (Ms) terhadap kuat tekan tanah gambut distabilisasi dengan geopolimer abu terbang hibrid

3.2 Molaritas NaOH

Pengaruh molaritas NaOH terhadap kuat tekan tanah gambut yang distabilisasi menggunakan geopolimer hibrid dapat dilihat pada Gambar 4. Molaritas NaOH yang digunakan pada penelitian ini adalah 10, 12 dan 14 M. Pada Mix 1 dan 4, kuat tekan tanah meningkat signifikan sebesar 30,58% dan 45,83% pada pemeraman 28 hari dibandingkan dengan pemeraman pada umur 7 hari. Setelah pemeraman 28 hari, kuat tekan Mix 5 meningkat sebesar 2.17% dibandingkan setelah pemeraman 7 hari. Hal ini menunjukkan, pada umumnya kekuatan

tanah distabilisasi dengan geopolimer hibrid akan meningkat dengan kenaikan molaritas NaOH. Ion OH bereaksi dengan silika dan aluminium pada abu terbang menghasilkan geopolimer yang lebih reaktif dan berkontribusi pada kekuatan akhir. Kuat tekan tanah juga meningkat sebesar 10,84% dan 3,04% untuk Mix 1 dan 4 setelah pemeraman selama 28 hari. Hasil penelitian sebelumnya menggunakan NaOH dengan molaritas 10M memberikan kuat tekan tanah tertinggi (Santhikala et al., 2022), tetapi pada penelitian ini didapatkan kuat tekan tanah tertinggi adalah pada stabilisasi dengan NaOH 12M.

Mix 5 menunjukkan perbedaan trend karena terjadi penurunan kuat tekan tanah dengan penambahan umur pemeraman. Peningkatan kuat tekan tanah hanya sebesar 2,17% pada umur 28 hari, sebelum turun menjadi 12,16% pada umur 56 hari dibandingkan dengan pemeraman pada umur 7 hari. Hal ini disebabkan tingginya molaritas NaOH yang tidak menghasilkan proses geopolimerisasi saat bercampur tanah gambut. Stabilisasi tanah dengan geopolimer hibrid menggunakan material tanah gambut yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan semen. Pada tanah gambut, lebih banyak serat dan kadar air juga tinggi sehingga kadar NaOH tinggi mengurangi terbentuknya geopolimer hibrid padat yang membantu peningkatan kuat tekan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan larutan activator dengan molaritas NaOH 12M direkomendasikan untuk stabilisasi tanah gambut menggunakan geopolimer hibrid.



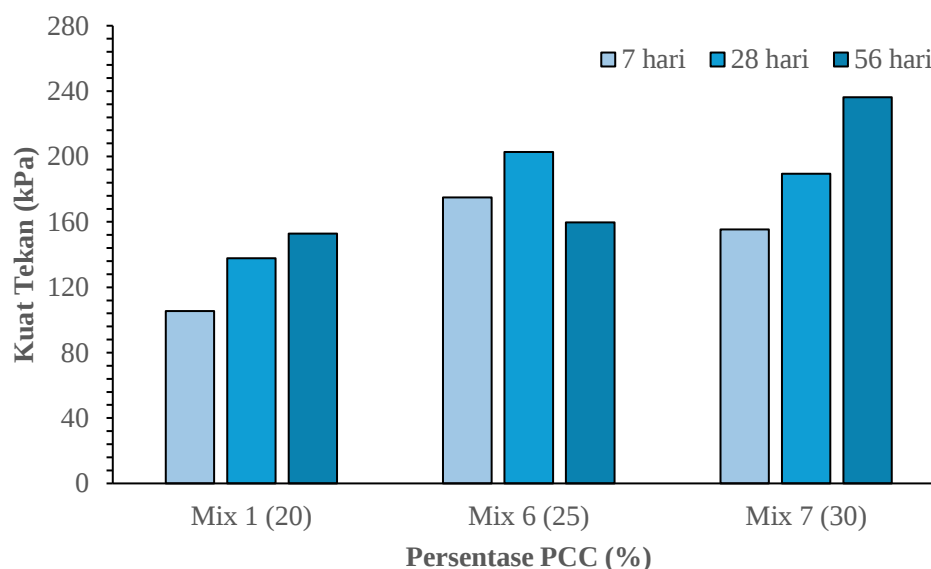
Gambar 4. Pengaruh molaritas NaOH terhadap kuat tekan tanah gambut distabilisasi dengan geopolimer abu terbang hibrid

3.3 Persentase semen Portland

Pengaruh penambahan semen Portland pada kuat tekan tanah gambut hasil stabilisasi geopolimer abu terbang hibrid dilihat di Gambar 5. Pada penelitian ini digunakan persentase semen Portland sebanyak 20%, 25% dan 30%. Penggunaan semen Portland sebagai bahan tambahan dalam stabilisasi tanah gambut dapat membantu peningkatan kuat tekan sebesar 30,58% untuk Mix 1 pada umur pemeraman 28 hari dibandingkan dengan umur 7 hari. Sedangkan untuk Mix 6 dan 7, peningkatan kekuatan tekan tanah gambut dengan geopolimer abu terbang hibrid sebesar 15,92% dan 21,93% untuk pemeraman pada umur yang sama. Peningkatan kekuatan awal yang tinggi sangat berguna saat stabilisasi tanah dilakukan di lapangan. Hal ini

dapat mengurangi waktu stabilisasi yang biasanya berlangsung sampai berbulan-bulan sampai mencapai kepadatan optimum. Penggunaan semen untuk stabilisasi gambut dapat mengisi pori dan mengikat tanah gambut menjadi massa padat (Ahmad et al., 2021).

Setelah 28 hari, pada Mix 1 dan Mix 7 terjadi peningkatan kekuatan tekan tanah sebesar 10,84% dan 24,79%. Tetapi kekuatan tekan tanah Mix 6 berkurang sebesar 21,27% setelah pemeraman selama 56 hari. Pengurangan kekuatan lebih dari 10% berasal dari sampel yang mengalami penurunan kekuatan tekan akibat penambahan semen Portland pada tanah gambut. Hal ini mungkin disebabkan karena pencampuran yang tidak sempurna maupun pemadatan sampel setelah ditambah semen Portland. Berdasarkan hasil penelitian Wibisono et al. (2019), kombinasi geopolimer hibrid dengan 25% semen Portland (*Ordinary Portland Cement*) dapat meningkatkan kekuatan tekan tanah gambut hingga mencapai 82 KPa pada usia pemeraman 7 hari. Pada penelitian tersebut, penambahan semen Portland sampai 75% dengan 25% geopolimer hibrid meningkatkan kekuatan tanah gambut hasil stabilisasi sebesar 7,3%. Sedangkan pada penelitian ini, penambahan semen Portland sebesar 30% pada geopolimer hibrid dapat meningkatkan kekuatan tanah gambut hasil stabilisasi pada mix 6 sebesar 202, 75 kPa pada umur 28 hari, dan kuat tekan tertinggi pada mix 7 sebesar 236,26 kPa atau 52,08% pada umur 56 hari.



Gambar 5. Pengaruh persentase semen *Portland Composite* (PCC) terhadap kuat tekan tanah gambut distabilisasi dengan geopolimer abu terbang hibrid

4. KESIMPULAN

Stabilisasi tanah gambut menggunakan material non-konvensional geopolimer abu terbang hibrid merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan kekuatan dukung yang lebih tinggi. Studi parametrik dilakukan untuk menentukan parameter optimum dari komponen geopolimer hibrid yakni modulus silikat ($M_s = 1,5-2,5$), molaritas natrium hidroksida/NaOH (10-14M), dan persentase semen PCC (*Portland Composite Cement*) sebesar 20-30%. Pencampuran dan pemadatan sampel berpengaruh pada kekuatan, misalnya penurunan kuat tekan pada mix 6 dengan lama pemeraman 56 hari. Hasil kajian parametrik menunjukkan bahwa kekuatan tekan

tanah gambut distabilisasi dengan geopolimer abu terbang hibrid meningkat menggunakan parameter rasio Ms sebesar 2,0, molaritas NaOH sebesar 12M dan persentase semen Portland sebesar 30%. Penggunaan parameter optimum tersebut dapat membantu kepraktisan perancangan campuran geopolimer hibrid serta berpotensi dapat diaplikasikan untuk stabilisasi massa tanah gambut di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan pada staf laboran dan Laboratorium Mekanika Tanah yang telah memfasilitasi pengujian. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa peneliti Batch 09 dan Laboratorium Struktur dalam penyelesaian pembuatan sampel dan analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Sutanto, M.H., Ahmad, N.R., Bujang, M., Mohamad, M.E. (2021). The implementation of industrial byproduct in Malaysian peat improvement: A sustainable soil stabilization approach. *Materials* 14(23): 7315.
- Allu Stabilisation System (2015). *Mass Stabilisation Manual*. Orimattila: Allu Finland Oy.
- Anggraini, M., Sari, M., Lubis, F. (2021). Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Kapur Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR). *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi* 7(2).
- Artiwi, N.P. (2019). Rekayasa stabilisasi tanah gambut dengan penambahan terak/klinker ditinjau dari nilai permeabilitas. *Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE)* 1(2).
- Axelsson, Karin. (2002). *Stabilization of Organic Soils by Cement and Pozzolan Reaction*. Swedish: Svensk Djupstabilisering.
- Cakrawisnu, D., Dwina, D.O., Nurdin, A., Alfernando, O. (2022). Pengaruh campuran Palm Oil Fuel Ash (POFA) terhadap stabilisasi tanah gambut ditinjau dari nilai CBR tanah. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang* 9(1).
- Davidovits, J. (1994), *High Alkali Cements for 21st Century Concretes*, in Mehta, K. (Ed.) *Concrete Technology, Past, Present and Future*. *Proceedings of V Mohan Malhotra Symposium*. ACI SP.
- Garcia-Lodeiro, I., Donatello, S., Fernandez-Jimenez, A., Palomo, A. (2016). Hydration of hybrid alkaline cement containing a very large proportion of fly ash: a descriptive model *Materials*. 9(605).
- Gunawan, S., Hadsari, V., Alibasah, M. (2016). Pemodelan pondasi dangkal pada tanah lunak dengan perkuatan cerucuk kayu dan ban bekas. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 10, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 26-27 Oktober 2016.
- M. Janz, S-E. Johansson. (2002). *The function of different binding agents in deep stabilization*. Research Report. Linköping: Swedish Deep Stabilization Research Centre.
- Ma'ruf, M.A., Yulianto, F.E. (2016). Tanah Gambut Berserat: Solusi dan Permasalahannya dalam Pembangunan Infrastruktur yang Berwawasan Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik 2016, Banjarmasin* 1 Oktober 2016.
- Nanda, R.P., Priya, N. (2024). Geopolymer as stabilizing materials in pavement constructions: A review. *Cleaner Waste Systems* 7 (100134): 1-15.
- Olivia, M., Pratama, R.S, Giri, F.R., Sitompul, I.R., Kamaldi, A., Wibisono, G., Saputra E. (2022). The Effect of Portland cement on fly ash bottom ash geopolymer hybrid concrete exposed to peat water environment. *Applied Materials and Technology* 3(2): 24-33.
- Parthiban, D., Vijayan, D.S., Koda, E., Vaverkova, M.D., Piechowicz, K., Osinski, P., Due B.V. (2022). Role of industrial based precursors in the stabilization of weak soils with geopolymer-A review. *Case Studies in Construction Materials* 16(e00886): 1-17.
- Rizaldi, N., Rusadi, A.I., Wibisono, G., Saputra, E., Olivia, M. (2020). Studi parametrik kuat

- tekan geopolimer abu terbang. *Media Teknik Sipil* 18(2): 113-121.
- Santhikala, R., Chandramouli, K., Pannirselvan, N. (2022). Stabilization of expansive soil using fly ash based geopolimer. *Materials Today: Proceedings* 68: 110-114.
- Sha'abani, M., Kalantari, B. (2012). Mass stabilization technique for peat soil- a review. *ARPJN Journal of Science and Technology* 2(5).
- Sitorus, F., Sarie, F., Hendri, O. (2022). Stabilisasi Tanah Gambut dari G.Obos Xiv Palangka Raya menggunakan Kapur Aktif terhadap Kuat Geser. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan* 5(2).
- Syaputri, B., Gazali, A., Purnamasari, E. (2022). Pengaruh Penambahan Campuran Kapur Dan Abu Sekam Padi Pada Stabilisasi Tanah Gambut Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Kuat Geser (Studi Kasus: Kecamatan Alalak, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan). *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil* 5(1).
- Wibisono, G., Erwin, Kamaldi, A., Olivia, M. (2019). Peat soil mass stabilization using geopolimeric hybrid material in early age. *MATEC Web of Conferences* 276, 05003: 1-6.