



PENGARUH NUTRISI TERIGU TERHADAP PERBAIKAN TANAH PASIR SILIKA DENGAN MISELIUM JAMUR.

Jonathan Yosuardi Sunaryo^a, Aswin Lim^{a,*}, Anriansyah Renggaman^b, Martin Wijaya^a

^aUniversitas Katolik Parahyangan, Bandung

^bInstitut Teknologi Bandung, Bandung

*Corresponding author, email address: aswinlim@unpar.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 21 July 2023

Accepted 6 December 2023

Online 30 December 2023

Keywords:

Soil Improvement

Fungi-Mycelium Treated Soil

Loose Sand

Rhizopus Oligosporus

Shear strength

ABSTRACT

In recent years, the development of multi disciplinary studies has led to several interesting topics in soil improvement. One of most emerging topic is related to biogeotechnics. This paper discuss one of application of biogeotechnics which using Fungi-mycellium to improve the shear strength of sands. Fungi are microorganisms that require nutritions such as glucose, cellulose, and lignin protein from substances in their surrounding environment. The objective of this paper is to investigate the effect of adding some rice flour in Fungi-Mycelium Treated Soil (FMTS). The rice flour is expected could extend the durability of the FMTS, for example silica sand mixed with *Rhizopus Oligosporus*. The mixed soils shear strength were examined by Unconfined Compression Test apparatus. According to the experimental results, the maximum unconfined compression strength was 45 kPa in which the sample was cured for 5 days. The range of obtained Young's modulus was 1077 kPa to 48 kPa, where the longer the curing time yielded a lower Young's Modulus. To increase the durability of soil sample, adding 8% of rice flour seems a reasonable, although the unconfined compressive strength might not significantly increase. However, the sample could be more durable than no rice flour was added.

©2023 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Teknik perbaikan tanah konvensional, contohnya penggunaan semen, berkontribusi pada emisi gas CO₂ secara langsung maupun tidak langsung (Salifu, 2019). Perbaikan tanah yang dilakukan setiap tahun diseluruh dunia, diperkirakan ada sebanyak 40.000 lokasi dengan nilai total lebih dari 6 miliar dollar US (DeJong dkk, 2010). Untuk menjaga kelestarian lingkungan, emisi gas CO₂ pada dunia konstruksi diupayakan untuk dikurangi. Beberapa alternatif perbaikan tanah berdasarkan secara ramah lingkungan mulai dikembangkan sebagai alternatif metode perbaikan tanah. Ada beberapa metode ramah lingkungan yang memanfaatkan makhluk hidup (biologis), seperti Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP) yang memanfaatkan bakteri untuk sementasi tanah (Baiq dkk, 2020; Lim dkk, 2021); Bio-Polymer Treated Soil (BPST) yang menggunakan senyawa biopolymer hasil produksi dari tumbuh-tumbuhan (Lim dkk, 2021; Ilhan dkk, 2020; Fatehi dkk, 2021); Enzyme Induced Calcite Precipitation (EICP) yang memanfaatkan enzim untuk sementasi tanah (Loebis dan Putra, 2023; Putra dan Yudhistira, 2022) dan Fungi-Mycelium Treated Soil (FMTS) yang memanfaatkan hifa/miselium jamur untuk meningkatkan kuat geser tanah (Lim dkk, 2019; Lim dan Pianica, 2022; Lim dkk, 2023). Semua metode biologis tersebut terbukti dapat meningkatkan kuat geser tanah dan modulus geser tanah, serta memperkecil permeabilitas tanah

Pada artikel ini, kajian berfokus pada perbaikan tanah pada tanah pasir dengan kepadatan rendah (loose sand) menggunakan jamur *Rhizopus Oligosporus*. Jamur *Rhizopus Oligosporus* sering ditemukan di alam karena hidupnya bersifat saprofit, jamur ini adalah kapang yang banyak digunakan pada pembuatan tempe (Lim dan Pianica, 2022). Jamur *Rhizopus Oligosporus* (RO) secara mikroskopis terusun oleh miselium yang tumbuh panjang menegak, dimana miseliumnya terdiri dari hifa yang bersekat (Suryani dkk, 2020). Kumpulan hifa pada jamur ini membentuk miselia yang mengikat dan menyatukan biji-biji kedelai pada pembuatan tempe. Jamur RO umumnya terdapat pada makanan yang mengandung banyak karbohidrat, baik pada bentuk yang sudah terurai atau yang siap digunakan (Suryani dkk, 2020). Miselia pada jamur RO ini juga dapat tumbuh pada tanah pasir lepas untuk mengikat dan menyatukan butir-butir pasir (Lim dkk, 2019; Lim dan Pianica, 2022; Lim dkk, 2023).

Pada penelitian terdahulu (Lim dkk, 2019; Lim dan Pianica, 2022; Lim dkk, 2023), sudah terbukti bahwa jamur RO dapat meningkatkan kuat tekan bebas (q_u) pada tanah pasiran. Namun kendala yang dihadapi adalah masa tumbuh jamur yang relatif cukup singkat. Mengingat bahwa jamur RO membutuhkan karbohidrat sebagai sumber nutrisi, maka pada penelitian ini akan memanfaatkan tepung terigu untuk memperpanjang umur tumbuh dan meneliti efek penggunaan tepung terigu terhadap peningkatan kuat geser tanah yang diperbaiki dengan Jamur RO. Pada artikel ini, kajian berfokus pada perbaikan tanah pada tanah pasir dengan kepadatan rendah (*loose sand*) menggunakan jamur *Rhizopus Oligosporus*. Jamur *Rhizopus Oligosporus* sering ditemukan di alam karena hidupnya bersifat saprofit, jamur ini adalah kapang yang banyak digunakan pada pembuatan tempe (Lim dan Pianica, 2022). Jamur *Rhizopus Oligosporus* (RO) secara mikroskopis terusun oleh miselium yang tumbuh panjang menegak, dimana miseliumnya terdiri dari hifa yang bersekat (Suryani dkk, 2020). Kumpulan hifa pada jamur ini membentuk miselia yang mengikat dan menyatukan biji-biji kedelai pada pembuatan tempe. Jamur RO umumnya terdapat pada makanan yang mengandung banyak karbohidrat, baik pada bentuk yang sudah terurai atau yang siap digunakan (Suryani dkk, 2020). Miselia pada jamur RO ini juga dapat tumbuh pada tanah pasir lepas untuk mengikat dan menyatukan butir-butir pasir (Lim dkk, 2019; Lim dan Pianica, 2022; Lim dkk, 2023).

Pada penelitian terdahulu (Lim dkk, 2019; Lim dan Pianica, 2022; Lim dkk, 2023), sudah terbukti bahwa jamur RO dapat meningkatkan kuat tekan bebas (q_u) pada tanah pasiran. Namun kendala yang dihadapi adalah masa tumbuh jamur yang relatif cukup singkat. Mengingat bahwa jamur RO membutuhkan karbohidrat sebagai sumber nutrisi, maka pada penelitian ini akan memanfaatkan tepung terigu untuk memperpanjang umur tumbuh dan meneliti efek penggunaan tepung terigu terhadap peningkatan kuat geser tanah yang diperbaiki dengan Jamur RO.

2. KAJIAN PUSTAKA

Lim dkk (2019) melakukan penelitian terhadap pasir lepas yang telah ditumbuhi jamur *Rhizopus oligosporus*. Jamur ini biasa digunakan pada industri makanan untuk pembuatan tempe. Dosis jamur *Rhizopus oligosporus*, kadar air pada pasir lepas dan waktu pengeringan divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan kuat tekan bebas (q_u). Penelitian yang dilakukan oleh Lim dkk (2019) ini menyimpulkan bahwa nilai kuat tekan bebas (q_u) optimal diperoleh ketika pasir lepas dicampur dengan 5,24% bibit jamur, 5% kadar air dengan waktu *curing* sampel adalah 3 hari.

Lim dan Pianica (2022) melakukan penelitian efek gradasi pasir pada penggunaan Jamur *Rhizopus Oligosporus* untuk Perbaikan Tanah Pasir Lepas. Sampel tanah dibuat dengan air sebanyak 5% dari berat sampel dan kadar ragi (bibit jamur *Rhizopus oligosporus*) sebanyak 5,24% dari berat sampel, kemudian di *curing* selama 3 hari. Pada penelitian ini, Lim Bersama Pianica melakukan berbagai variasi gradasi tanah asli untuk mengetahui gradasi terbaik yang menghasilkan nilai kuat geser tanah maksimum. Penelitian ini menyimpulkan bahwa parameter kuat geser tanah maksimum diperoleh saat komposisi gradasi 50% *fine sand* dan 50% *medium sand*.

Penelitian terhadap pasir yang ditumbuhi jamur ini terus dikembangkan. Lim dkk (2023) membandingkan kuat geser pada tanah pasir yang telah ditumbuhi jamur *Pleurotus ostreatus* (Jamur Tiram)

dan Jamur *Rhizopus oligosporus*. Pada penelitian ini, kadar air dan waktu *curing* divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan nilai kuat tekan bebas. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa nilai kuat tekan bebas (q_u) campuran pasir dan jamur *Pleurotus ostreatus* maksimum adalah sebesar 73 kPa. Hasil kuat tekan bebas ini diperoleh ketika pasir dicampur dengan air sebanyak 5% dari berat sampel, bibit jamur tiram sebanyak 30 gram, dan di *curing* selama 14 hari. Pada tanah pasir yang ditumbuhi jamur *Rhizopus oligosporus*, nilai kuat tekan bebas maksimum adalah sebesar 100,5 kPa, dimana pasir lepas dicampur dengan 5% bibit jamur, 5% kadar air dengan waktu *curing* sampel adalah 4 hari.

Selanjutnya, Salifu dkk (2021) mempelajari perilaku hidrolis pada tanah pasir yang telah ditumbuhi jamur *Pleurotus ostreatus* selama 12 minggu. Penelitian ini mempelajari *water retention* dan sifat permeabilitas pada tanah unsaturated dan pengaruhnya terhadap kolam infiltrasi. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa pada pasir yang telah ditumbuhi jamur *Pleurotus ostreatus*, nilai permeabilitas *unsaturated* menjadi lebih kecil. Pada kurva *Soil Water Characteristic Curve* terjadi pergeseran, dimana *wetting curves* pada *suction* yang lebih rendah dan *drying curves* pada *suction* yang lebih tinggi. Selain itu, Park dkk (2023) dan Zhang dkk (2022) menyimpulkan pertumbuhan jamur dapat membantu ketahanan erosi pada tanah pasir.

2.2 Jamur *Rhizopus Oligosporus*

Dikutip dari Suryani dkk, 2020, *Rhizopus* secara mikroskopis tersusun dari miselium yang tumbuh panjang menegak, dimana miseliumnya terdiri dari hifa tidak bersekat. Jamur RO adalah kapang yang banyak digunakan pada pembuatan tempe dan banyak ditemukan di alam karena hidupnya bersifat saprofit (Lim & Pianica, 2022). Kumpulan hifa pada jamur ini membentuk miselia yang mengikat dan menyatukan biji-biji kedelai pada pembuatan tempe. Jamur memerlukan nutrisi untuk hidup. Jamur memerlukan zat organik dari organisme lain sehingga jamur disebut sebagai organisme heterotroph.

Kehidupan jamur dipengaruhi oleh 5 faktor, yaitu (Suryani dkk, 2020):

1. Kemasaman (pH)
Kemasaman (pH) mempengaruhi metabolisme jamur. pH yang semakin dekat kondisi optimum, mengakibatkan metabolisme jamur akan semakin cepat.
2. Kelembaban
Jamur membutuhkan kelembaban berbeda-beda untuk tumbuh. Kebanyakan jamur hidup pada substrat yang belum jenuh air.
3. Kandungan Oksigen
Oksigen diperlukan Sebagian jamur untuk melakukan respirasi. Pada jamur anaerob kehadiran oksigen dapat bersifat letal.
4. Cahaya untuk tumbuh

2.3 Tanah Pasir

Pada umumnya, tanah dapat dikategorikan sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan dari tanah tersebut (Das, 1995). *Unified Soil Classification System* (USCS) mendefinisikan pasir sebagai tanah berbutir kasar dengan diameter antara 0.075 mm dan 4.75 mm. Tanah pasir memiliki kuat geser yang rendah, sehingga sering terjadi erosi pada bagian permukaan tanah. Pada pasir bergradasi seragam, erosi angin menjadi salah satu sumber masalah yang sering dihadapi (Lim & Pianica, 2022).

2.4 Uji Kuat Tekan Bebas (ASTM D-2166)

Unconfined compression atau kuat tekan bebas (q_u) adalah tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris sebelum mengalami keruntuhan geser. Nilai kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) diperoleh dari pembacaan *proving ring dial* saat mencapai nilai maksimum.

$$q_u = \frac{k \times R}{A} \quad (1)$$

Dimana:

q_u = kuat tekan bebas

k = kalibrasi proving ring

R = (pembacaan maksimum - pembacaan awal) = tegangan deviatoric

A = luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan R (yang dikoreksi)

2.5 Uji Saringan (ASTM D-6913)

Uji saringan bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butir tanah, sehingga sifat teknis tanah secara umum dapat diperkirakan. Ukuran saringan menurut ASTM D-6913 ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Uji Saringan Menurut ASTM D-6913

No Saringan	Ukuran Lubang (mm)
4	4,750
10	2,000
20	0,850
40	0,425
80	0,180
120	0,120
200	0,075

Parameter yang diperoleh dari uji saringan adalah diameter efektif (D_{10}), diameter kebersamaan (D_{60}), koefisien keseragaman (C_u), dan koefisien gradasi (C_c). Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} + D_{10}} \quad (3)$$

Dimana:

C_u = Koefisien keseragaman

C_c = Koefisien kelengkungan

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran tanah

D_{10} = diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran tanah

D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran tanah

USCS (*Unified Soil Classification System*), menentukan bahwa tanah yang bergradasi baik adalah:

$C_u < 4$ dan $1 < C_c < 4$ untuk kerikil

$C_u > 6$ dan $1 < C_c < 3$ untuk pasir

Apabila syarat diatas tidak terpenuhi, maka tanah tersebut disebut bergradasi buruk.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pasir Silika

Gambar 1 menunjukkan tanah pasir silika yang digunakan pada penelitian ini. Sebelum digunakan, Pasir silika dicuci terlebih dahulu hingga air cucian bewarna bening (tidak keruh). Tujuan dari pencucian pasir ini untuk menghindari zat lain selain pasir yang tercampur pada penelitian. Kemudian pasir yang telah bersih, dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 Celcius selama 24 jam. Dengan melakukan dua tahapan persiapan pasir pengujian diatas, bertujuan supaya kondisi sampel pasir seragam dan ideal untuk setiap pengujian.



Gambar 1. Pasir Silika yang digunakan untuk pengujian.

3.2 Bibit Jamur *Rhizopus Oligosporus*

Bibit Jamur *Rhizopus Oligosporus* diperoleh produk komersial PT. Aneka Fermentasi Industri, Bandung. Bibit ini disebut juga Ragi Tempe di pasaran. Ragi Tempe inilah yang kemudian akan dimanfaatkan untuk dicampurkan pada tanah pasir silika. Pada artikel ini, bibit jamur *Rhizopus Oligosporus* akan disebut sebagai Ragi Tempe. Ragi tempe yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ragi tempe dalam kemasan

3.3 Persiapan Sampel

Percobaan dilakukan dengan mencampurkan pasir silika, ragi tempe, terigu dan aquades. Komposisi campuran akan dijelaskan pada bab selanjutnya. Bahan-bahan tersebut dimasukkan kedalam satu wadah kemudian diaduk hingga merata. Tujuan penambahan air suling adalah untuk memberikan kelembaban agar jamur dapat tumbuh dengan baik (Lim & Pianica, 2022). Campuran bahan-bahan tersebut dimasukkan kedalam tabung berbahan plastik dengan diameter 3.8 cm dan tinggi 7.6 cm yang bagian bawahnya telah ditutup oleh plastik *wrap* untuk mencegah campuran keluar dari tabung. Ukuran tabung sample ini disesuaikan dengan sampel uji *Unconfined Compression Test*. Setelah dimasukkan kedalam tabung, tutup bagian atas tabung tersebut menggunakan plastik transparan. Setelah itu lubangi plastik bagian atas tabung menggunakan jarum. Simpan tabung tersebut ditempat tertutup selama waktu *curing* yang telah direncanakan. Suhu ruangan pada saat persiapan sampel berkisar 26 – 27 Celcius. Sampel campuran pasir silika, ragi tempe, terigu, dan air suling di dalam tabung cetakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sampel Campuran Pasir Silika, Ragi Tempe, Terigu, dan Air Suling di Dalam Tabung Cetakan

Setelah sampel mencapai masa *curing*, maka sampel dikeluarkan dari tabung dan dilakukan uji Kuat Tekan Bebas. Uji kuat tekan bebas dilakukan pada Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Katolik Parahyangan Bandung. Alat uji kuat tekan bebas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat Uji Kuat Tekan Bebas

3.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu *curing* terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) pada campuran pasir, jamur RO, dan terigu. Waktu *curing* divariasikan selama 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari, dan 7 hari. *Benchmark* campuran pada penelitian ini, kadar air, kadar terigu dan dosis ragi tempe yang digunakan adalah sebesar 5% dari berat pasir silika.

Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh presentase kadar terigu terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) pada campuran pasir, ragi tempe, dan terigu. Waktu *curing* pada penelitian ini adalah 7 hari, dengan kadar terigu divariasikan sebesar 3%, 5%, 8% dan 10% dari berat pasir yang digunakan. Pada penelitian ini, kadar air, kadar terigu dan dosis ragi tempe yang digunakan adalah sebesar 5% dari berat pasir silika. Detail rencana pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.

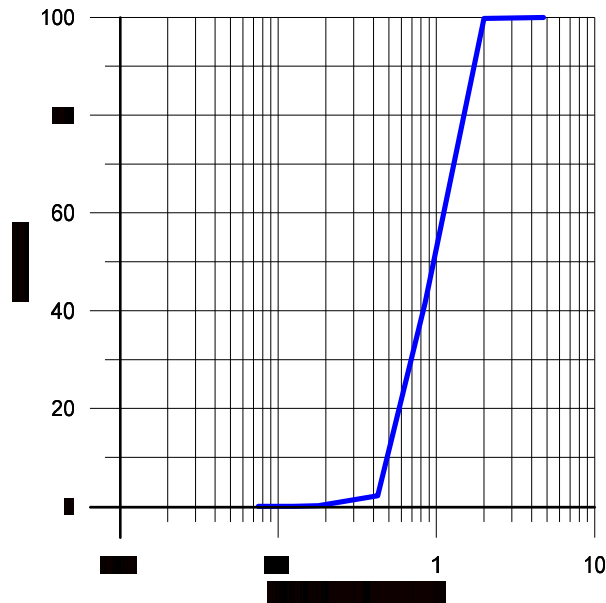
Tabel 2. Rangkaian pengujian campuran terigu dan ragi

No	Kadar air	Kadar terigu	Dosis ragi tempe (%)	Waktu <i>Curing</i> (hari)	Tujuan
1	5	5	5	1,2,3,4,5,6,7	mengetahui pengaruh waktu <i>curing</i> terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u)
2	5	3, 5, 8, 10	5	7	mengetahui pengaruh kadar terigu terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Indeks Properties Pasir Silika

Uji saringan dilakukan untuk mengetahui gradasi pada pasir silika yang digunakan. Grafik hasil uji saringan pasir silika yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 dapat dilihat gradasi pasir silika adalah *poorly graded* (SP), dengan nilai koefisien keseragaman (c_u) sebesar 2,12 dan nilai koefisien kelengkungan (c_c) sebesar 0,86.



Gambar 5. Gradasi Pasir Silika untuk pengujian

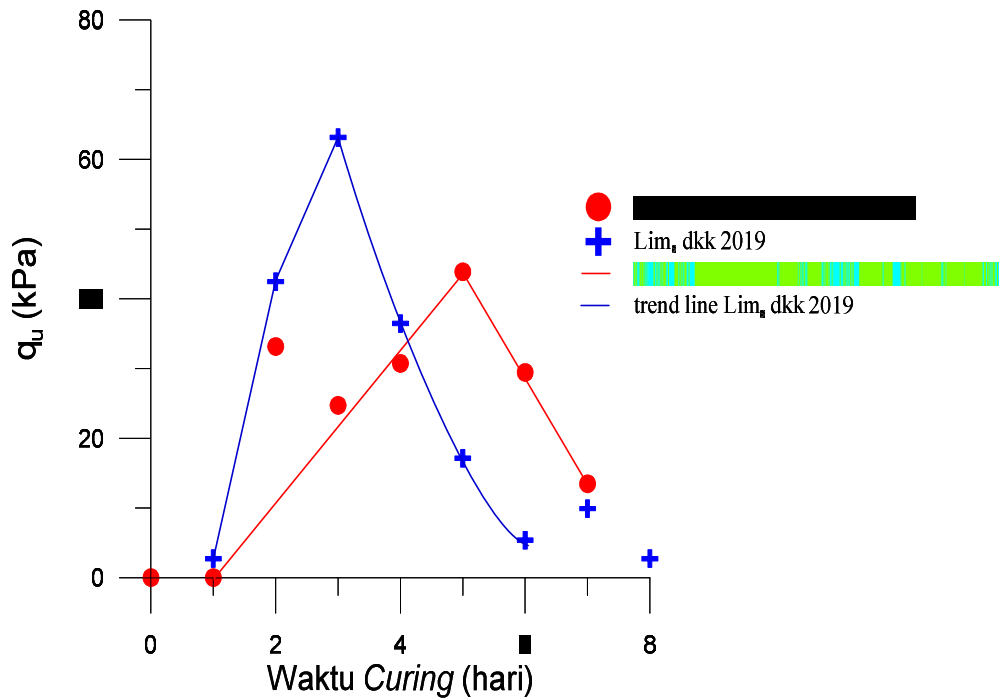
Berat isi maksimum (γ_{dmax}) dan berat isi minimum (γ_{dmin}) dari tanah pasir silika yang digunakan adalah berkisar antara 1,78 g/cm³ dan 1,45 g/cm³. Nilai berat jenis (Gs) pasir silika yang digunakan adalah 2,62. Rangkuman indeks properties dari pasir silika yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks Properties Pasir Silika

Berat Jenis, (Gs)	Berat Isi Maksimum, γ_{dmax} (g/cm ³)	Berat Isi Minimum, γ_{dmin} (g/cm ³)	Klasifikasi Tanah
2,62	1,78	1,45	SP (<i>poorly graded sand</i>)

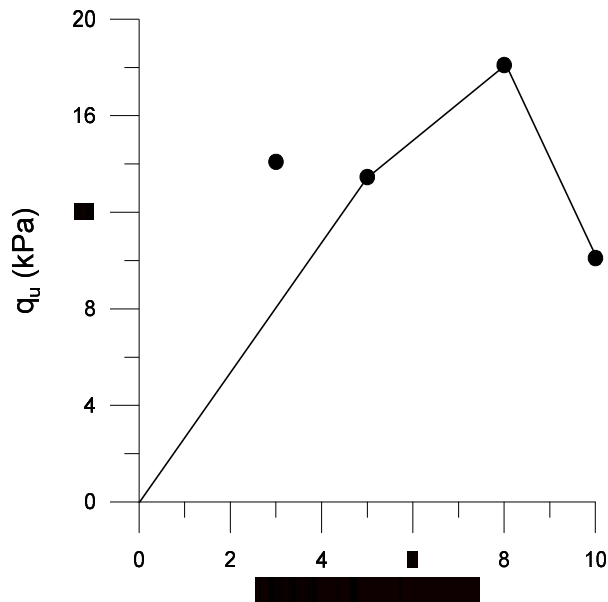
4.2 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas

Hasil uji kuat tekan bebas campuran pasir, ragi tempe, dan terigu dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 menunjukkan hubungan waktu curing terhadap nilai kuat tekan bebas. Terlihat bahwa pada sampel yang ditambahkan tepung terigu, nilai kuat tekan bebas (q_u) tertinggi adalah 45 kPa yang dicapai pada hari ke-5. Sedangkan kuat tekan bebas terendah diperoleh pada hari ke-7 yaitu 12 kPa. Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Lim dkk (2019) yang dilakukan tanpa penambahan tepung terigu, penelitian dengan penambahan tepung terigu belum menunjukkan hasil yang memuaskan pada peningkatan kuat tekan bebas maksimum. Namun, sampel dengan penambahan tepung terigu pada waktu curing 5, 6, dan 7 hari memiliki kuat tekan bebas yang lebih besar dari sampel tanpa penambahan tepung terigu. Hal ini merupakan indikasi bahwa penambahan tepung terigu memiliki efek untuk meningkatkan durabilitas sampel. penambahan tepung terigu.



Gambar 6. Hubungan Waktu *Curing* Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u)

Gambar 7 menunjukkan hubungan kadar terigu terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u). Pada Gambar 7 dapat dilihat hubungan presentase terigu yang digunakan terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) pada *curing* hari ke-7. Persentase atau kadar terigu ini dihitung terhadap berat pasir. Nilai kuat tekan bebas (q_u) terbesar diperoleh ketika sampel dicampurkan dengan terigu sebanyak 8% yaitu sebesar 18,1 kPa. Penggunaan terigu sebanyak 10% dari berat pasir, mengakibatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) berkurang menjadi 10,1 kPa. Dari hasil ini, terlihat bahwa kadar terigu yang berlebihan juga berdampak buruk terhadap nilai kuat tekan bebas sampel.



Gambar 7. Hubungan Kadar Terigu Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u)

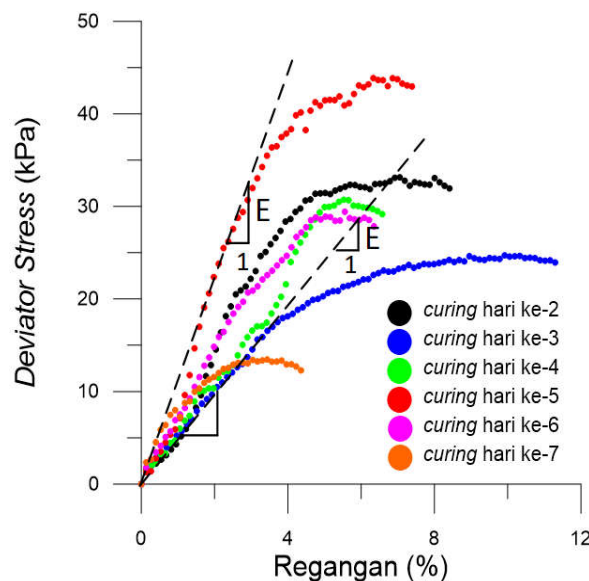
Gambar 8 menunjukkan foto sampel pasir silika yang dicampur dengan ragi tempe 5% dan tepung terigu 5% pada *curing* 1 hari. Pada Gambar 6, nilai kuat tekan bebas pada sampel *curing* hari pertama tidak diperoleh karena sampel belum bisa berdiri. Hal ini disebabkan karena hifa jamur belum tumbuh sempurna

untuk mengikat butiran tanah pasir. Dari hasil ini, bisa disimpulkan bahwa sampel bisa dikeluarkan dari tabung plastik / tabung cetakan adalah pada hari kedua.



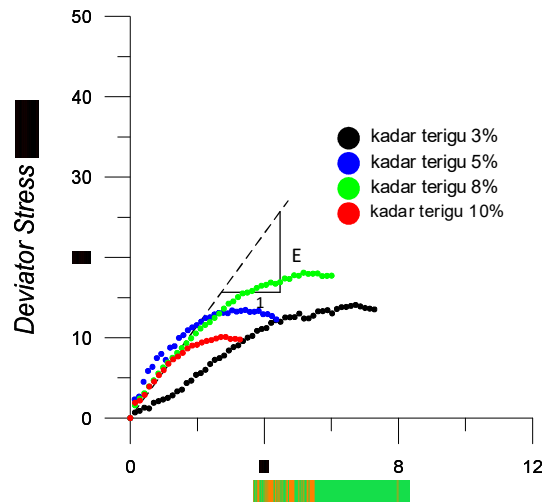
Gambar 8. Campuran Pasir Silika, Jamur RO 5%, Terigu 5%, *Curing* Hari ke-1

Gambar 9 menunjukkan kurva tegangan-regangan pada sampel dengan campuran ragi tempe 5%, terigu 5%, dan kadar air 5% dengan berbagai variasi waktu curing. Kurva tegangan-regangan yang diperoleh memiliki bentuk tipe kurva *strain-hardening*, dimana merupakan ciri dari tanah lunak. Rentang nilai *Young's modulus* (E) adalah 1077 kPa hingga 48 kPa. Hasil ini bila dibandingkan dengan Lim dkk (2023), nilai E maksimum 1077 kPa mendekati nilai $E=1300$ kPa (Lim dkk, 2023). Namun, bila dibandingkan dengan nilai E minimum 48 kPa, nilai ini masih cukup kecil sehingga perlu eksplorasi lebih lanjut untuk meningkatkan nilai E minimum.



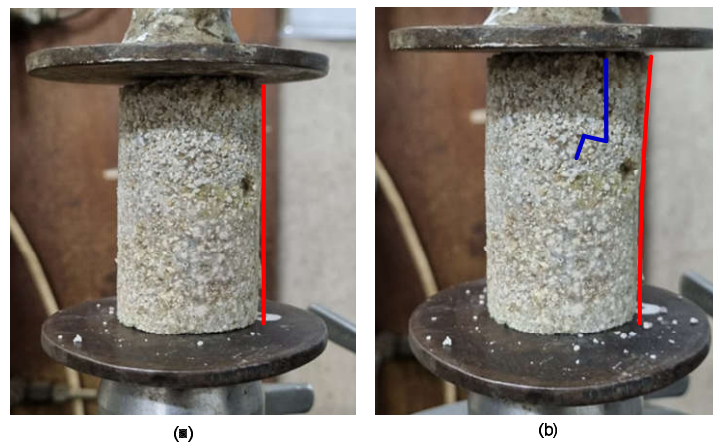
Gambar 9. Kurva Tegangan Regangan Tanah Campuran Tempe ragi 5%, Terigu 5%, kadar air 5%, dan Waktu *Curing* 2, 3, 4, 5, 6, 7 hari

Untuk mengetahui kadar penambahan kadar terigu terhadap nilai *Young's modulus* (E), maka dilakukan percobaan dengan 4 variasi kadar terigu. Gambar 10 menunjukkan tanah campuran tempe ragi 5%, kadar air 5%, curing hari ke-7, dan kadar terigu 3%, 5%, 8%, dan 10%. Nilai *Young's modulus* terbesar diperoleh pada kadar terigu 8% dengan nilai E adalah 550 kPa dan nilai kuat tekan bebas adalah 18 kPa. Nilai ini lebih tinggi dari kadar terigu 3%, 5%, dan 10%. Dari percobaan ini, dapat disimpulkan bahwa kadar terigu 8% mampu memberikan peningkatan kuat tekan bebas tanah pada hari ke-7.



Gambar 10. Kurva Tegangan Regangan Tanah Campuran Tempe ragi 5%, kadar air 5, *Curing* Hari ke-7, dan Kadar Terigu 3%, 5%, 8%, dan 10%

Pada Gambar 11, dapat dilihat sampel sebelum dan sesudah dilakukan uji kuat tekan bebas. Setelah dilakukan uji kuat tekan bebas, terjadi retakan (garis biru) pada bagian tengah sampel. Pada bagian atas sampel, terjadi deformasi arah lateral (garis merah) setelah sampel diuji kuat tekan bebas seperti dapat dilihat pada Gambar 11b. Pola retakan yang terjadi lazim dijumpai pada tanah lunak, dimana bentuk bagian atas sampel merekah (*bulging*).



Gambar 11. (a) Sampel Sebelum Diuji Kuat Tekan Bebas, (b) Sampel Sesudah Diuji Kuat Tekan Bebas

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sejumlah sampel percobaan tanah dengan variasi campuran kadar ragi tempe, waktu *curing*, dan kadar tepung terigu telah berhasil dilakukan. Nilai kuat tekan bebas (q_u) campuran pasir silika, ragi tempe, dan terigu paling tinggi diperoleh pada *curing* hari ke-5 yaitu sebesar 45 kPa dimana ragi tempe, terigu dan air suling yang digunakan adalah 5% dari berat pasir silika yang digunakan. Nilai modulus sampel tanah sampel tanah memberikan tendensi menurun di waktu *curing* yang lama, yaitu berkisar antara 1077 hingga 48 kPa. Pada *curing* hari ke-7 nilai q_u turun signifikan menjadi 13,5 kPa. Adapun nilai q_u hari ke-7 dari campuran terigu 8% dari berat pasir silika adalah sebesar 18.1 kPa, dimana nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan terigu 5% pada *curing* hari ke-7. Sehingga, dosis campuran terigu 8% merupakan dosis optimum pada hari *curing* ke-7, yaitu 14 kPa.

Saran untuk penelitian selanjutnya bisa difokuskan pada variasi kadar air yang digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan bebas (q_u) campuran pasir silika, ragi tempe, dan terigu.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D2166/D2166M-16 . 2016. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D6913/D6913M-17. 2017. Standard test method for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA.
- Baiq, H. S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., Johan, E. 2020. Examination of Calcite Precipitation Using Plant derived Urease Enzyme for Soil Improvement. *International Journal of Geomate*. 19(72), 231-237.
- Chang, I., Lee, M., Tran, A. T., Lee, S., Kwon, Y. M., Im, J., Cho, G. C. 2020 . Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in Geotechnical Engineering Practices. *Transportation Geotechnics*. 20, 100385.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika tanah (prinsip – prinsip rekayasa geoteknis)*. Erlangga, Surabaya.
- DeJong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, B. C., Nelson, D. C. 2010. Bio-mediated soil improvement. *Ecological Engineering*. 36(2), 197-210.
- Fatehi, H., Ong, D. E. L., Yu, J., Chang, I. 2021. Biopolymers as Green Binders for Soil Improvement in Geotechnical Applications: A Review. *Geosciences*. 11(7), 291
- Lim, A., Pianica, L. 2022. Efek gradasi tanah pasir pada penggunaan jamur *Rhizopus Oligosporus* untuk perbaikan tanah pasir lepas. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*. 20(2), 157-162.
- Lim, A., Atmaja, P., C., Rustiani, S. 2019. Bio-mediated soil improvement of loose sand with fungus. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 12(1), 180-187.
- Lim, A., Henzi, P., Arvin, O. 2023. Comparison of *Pleurotus Ostreatus* and *Rhizopus Oligosporus* fungi for loose sand improvement. *Journal of GeoEngineering*. 18(1), 1-10.
- Lim, A., Iskandar, M. R., Albrecht, Y. 2021. Improvement of soil shear strength using glucomannan biopolymer for loose sand. *Earth and Environmental Science*. 871, 012056.
- Loebis, A.R., Putra, H. 2023. Applicability of Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation Method in Various Liquefiable Sandy Soils. *Indonesian Geotechnical Journal*. 2(2), pp.11-20
- Park, J.S., Lin, H., Moe, M.W., Salifu, E. 2023. Hydraulic properties of sands treated with fungal mycelium of *Trichoderma virens*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 149, 11.
- Putra, H., Yudhistira, I. 2022. Improvement of the California Bearing Ratio of Peat Soil Using Soybean Crude Urease Calcite Precipitation. *Civil Engineering Journal*. 8(11), 2411-2423.
- Salifu, E. 2019. *Engineering fungal-mycelia for soil improvement*. Università degli Studi di Napoli Federico II Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Italia.
- Salifu, E., Mountassir, G. E., Minto, J. M., Tarantino, A. 2021. Hydraulic behaviour of fungal treated sand. *Geomechanics for Energy and the Environment*. 20, 100258.
- Suryani, Y., Taupiqurrahman, O., Kulsum, Y. 2020. *Mikologi*. PT. Freeline Cipta Granesia, Sumatera Barat.
- Zhang, X., Fan, C., Wang, C., Yu, X. 2022. A novel method to improve the soil erosion resistance with Fungi. *Acta Geotechnica*. 18, 2827-2845.