

STUDI LABORATORIUM CAMPURAN BIOPOLIMER GLUKOMANAN DAN BEESWAX UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH PASIR

Andra Ardiana¹, Aswin Lim^{1,*}, Henky Muljana², Heriansyah Putra³, Budijanto Widjaja¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, 041006, Indonesia

² Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Parahyangan, 041006, Indonesia

³ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, 16680, Indonesia

*Corresponding authors: aswinlim@unpar.ac.id

Abstract: Nowadays, the use of Portland Cement (OPC) in construction has begun to be reduced and shifted to environmentally friendly materials, such as biopolymers. Biopolymers are natural polymers derived from plant, animal, algae, fungal, or bacterial sources and consist mainly of polysaccharides. Using biopolymers as organic materials has its own challenges, such as being sensitive to water and undergoing biodegradation. In this study, the sensitivity to water will be reduced by mixing a hydrophobic beeswax and glucomannan biopolymer. In addition, the method of mixing samples, such as wet and dry mixings, was also examined to obtain a better method for mixing pieces. The test results in the laboratory showed an increase in the cohesion value of 264.8 kPa, the internal friction angle of 44.7°, and the undrained shear strength value of 525.8 kPa from the unconfined compressive strength test with a biopolymer composition of 2% glucomannan plus 2% beeswax. The biopolymer composition balanced between glucomannan and beeswax, temperature of 110°C, and wet mixing method are the most optimal conditions for preparing test samples.

Keywords: Biopolymer, Glucomannan, Beeswax, Soil Improvement, Shear Strength Parameters

Abstrak: Pada saat ini, pemakaian semen *Portland* (OPC) pada dunia konstruksi mulai dikurangi dan dialihkan ke material yang ramah lingkungan, seperti biopolimer. Biopolimer adalah polimer alami yang berasal dari tumbuhan, hewan, alga, jamur, atau sumber bakteri yang terdiri dari polisakarida. Penggunaan biopolimer sebagai bahan organik memiliki tantangan tersendiri yaitu sifatnya yang sangat sensitif terhadap air dan mengalami biodegradasi. Pada penelitian ini, sifat sensitif terhadap air akan coba dikurangi dengan mencampur sampel pasir silika dengan lilin lebah (*beeswax*) yang bersifat hidrofobik dan biopolimer yang digunakan adalah glukomanan. Selain itu, metode pencampuran sampel pada kondisi basah dan kondisi kering juga ditinjau untuk memperoleh metode yang lebih baik untuk pencampuran sampel. Hasil uji laboratorium menunjukkan peningkatan nilai kohesi sebesar 264,8 kPa dan sudut geser dalam sebesar 44,7° serta nilai *Undrained shear strength* sebesar 525,8 kPa dari uji kuat tekan bebas dengan komposisi biopolimer 2 % glukomanan ditambah 2 % lilin lebah. Komposisi biopolimer yang seimbang antara glukomanan dan lilin lebah, suhu pemanasan 110°C, dan metode pencampuran basah merupakan kondisi yang paling optimal dalam pembuatan sampel uji.

Kata kunci: : Biopolimer, Glukomanan, Lilin Lebah, Perbaikan Tanah, Parameter Kuat Geser

PENDAHULUAN

Dampak lingkungan akibat penggunaan *Ordinary Portland Cement* (OPC) adalah pelepasan sekitar 2% dari total emisi CO₂ ke atmosfer yang mengakibatkan pemanasan global (efek rumah kaca) (Plank, 2005). Dalam pekerjaan geoteknik seperti: *Deep Soil Mixing*, *Grouting*, *Soil Nailing*, dan stabilisasi tanah, penggunaan OPC masih sangat disukai karena memiliki banyak manfaat keteknikan diantaranya adalah kekuatan dan daya tahan yang tinggi, kemudahan dalam pengerjaan, kemampuan hidrolis, dan

biaya yang rendah. Namun kesadaran praktisi geoteknik akan dampak lingkungan yang ditimbulkan semakin meningkat sehingga banyak penelitian menggunakan bahan alami sebagai pengganti OPC yang menjadi alternatif ramah lingkungan di antaranya adalah penggunaan biopolimer (Chang dkk, 2016a).

Biopolimer adalah polimer alami yang berasal dari tumbuhan, hewan, alga, jamur, atau sumber bakteri yang terdiri dari polisakarida. Biopolimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Konjac Glucomannan* yang bersumber

dari tanaman Porang (*Iles-iles*) yang banyak dibudidayakan oleh petani lokal. Salah satu tantangan penggunaan biopolimer adalah biopolimer mudah larut dalam air. Pada bidang perbaikan tanah, hal ini perlu diformulasikan solusinya karena tanah seringkali bersinggungan dengan air, baik air permukaan (*Surface Run-Off*) maupun air tanah (*Groundwater*).

Untuk menjawab tantangan ini, akan diuji pencampuran antara *Glucomanan* dengan asam organik yang berasal dari *Beeswax* (lilin lebah). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan parameter kuat geser, menggunakan uji geser langsung dan uji kuat tekan bebas (UCT).

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Pasir Lepas

Tanah pasir berasal dari *quartz* dan *feldspar* (Das, 2010). **Tabel 1** menampilkan klasifikasi pasir berdasarkan sistem USCS. Ukuran butiran tanah pasir berada pada rentang 4,75–0,075 mm. Masih berdasarkan sistem USCS, ukuran butiran tanah pasir dibagi menjadi tiga kelompok yaitu: pasir kasar, pasir medium, dan pasir halus. Dengan menggunakan alat *Scan Electron Micrograph* (SEM) dapat dilihat bentuk butiran pasir secara lebih jelas. Bentuk butiran pasir terdiri dari *Rounded*, *SubRounded*, *SubAngular*, dan *Angular* (Holtz, R. D., Kovacs, W. D, 1981).

Tabel 1. Pengelompokkan Tanah Pasir Berdasarkan Sistem USCS (Das, 2010)

Organisasi	Klasifikasi	Batas Ukuran [mm]
Unified, U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation, and ASTM	Pasir Kasar	4,705 – 2,000
	Pasir Medium	2,000 – 0,425
	Pasir Halus	0,425 – 0,075

Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah adalah suatu aspek penting dalam rekayasa pondasi seperti pada daya dukung pondasi dangkal, pondasi tiang, stabilitas lereng, bendungan, timbunan, dan tekanan lateral pada dinding penahan tanah. Kekuatan geser tanah memengaruhi angka keamanan pada struktur-struktur geoteknik tersebut. Jika terjadi kegagalan pada tanah, maka struktur di atasnya juga akan mengalami kegagalan. Pada tahun

1900, Mohr mempresentasikan teori keruntuhan pada material. Istilah kekuatan tanah digunakan untuk merepresentasikan nilai kekuatan geser tanah, di mana tahanan gesek pada tanah terhadap gaya gesernya.

Sesuai dengan teori Mohr, keruntuhan di sepanjang bidang dalam material terjadi oleh kombinasi dari tegangan normal dan tegangan geser kritis (Das, 2010). Tegangan geser tanah (τ_f) adalah tahanan internal maksimum terhadap tegangan geser yang dipakai (Budhu, 2011). Akibat tegangan geser pada tanah, tanah memberikan respon yang khas. Saat tanah menjadi subjek akibat gaya geser maka perilaku tanah itu sendiri dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok. Kelompok pertama disebut tanah tidak tersementasi yang mempunyai ikatan antarpartikel yang lemah. Kelompok kedua adalah tanah yang tersementasi di mana ikatan antarpartikelnya kuat melalui pergantian atau pertukaran ion.

Tanah tipe 1 merupakan tanah pasir lepas di mana kurva tegangan regangan tidak memiliki puncak hingga mencapai kondisi kritis yang biasa disebut juga *Strain Hardening*, pada kurva regangan vertikal memiliki kecenderungan yang sama dengan kurva tegangan geser yaitu semakin meningkat seiring dengan meningkatnya regangan horizontal hingga tidak terjadi perubahan lagi dalam arah vertikal. Nilai angka pori untuk tanah tipe 1 akan semakin mengecil seiring dengan bertambahnya regangan horizontal. Hal ini dikarenakan tanah lepas akan memadat akibat adanya tegangan geser. Tanah tipe 2 merupakan tanah pasir padat atau tanah lempung dengan konsolidasi berlebih, di mana kurva tegangan regangan memiliki puncak dan mengecil hingga mencapai kondisi kritis, biasa disebut juga *Strain Softening*. Pada kurva regangan vertikal, akan mengalami peningkatan karena terjadi kompresi, setelah itu kurva mengalami penurunan dikarenakan butiran pasir padat bergulir menciptakan rongga dan membuat tanah mengembang atau dilasi. Pada tanah tipe 2 ini nilai angka pori akan meningkat menuju kondisi angka pori kritis.

Perbaikan Tanah Menggunakan Biopolimer

Para peneliti semakin banyak melakukan penelitian mengenai penggunaan biopolimer dalam meningkatkan karakteristik sifat tanah untuk keperluan rekayasa geoteknik. Biopolimer yang diakui sebagai alternatif yang layak adalah polimer kimia konvensional karena memiliki potensi manfaat penghematan biaya, dampak lingkungan yang rendah, non-toksisitas, dan polusi non-

sekunder (O'Kelly dan Aminpour, 2015). Biopolimer atau polimer alami adalah bahan polimer yang diperoleh dari alam yang dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Polimer yang diproduksi oleh sistem biologi seperti oleh hewan, tumbuhan, atau mikroorganisme.
- Polimer yang disintesis secara kimia tetapi merupakan turunan dari senyawa alami yang diproduksi oleh sistem biologi seperti gula dan asam amino.

Biopolimer adalah bahan hidrokoloid yang digunakan sebagai pengental atau bahan pembentuk gel dalam industri makanan. Contoh Hidrokoloid lain misalnya gom, pektin, gelatin, selulosa, agar, caragan, dll. Beberapa *Gummies* alami yang potensial antara lain: *Xanthan Gum*, *Guar Gum*, *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), *Modified Starch*, *Agar Gum*, dan *Gellan Gum*.

Mujahidin (2019) mencoba biopolimer pati tapioka, biji durian, dan lilin lebah dengan berbagai konsentrasi 0%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% lilin lebah sebagai plastik yang lebih ramah lingkungan. Dari hasil percobaan penggunaan pati glukomanan, dilakukan karakterisasi bahan dengan tiga jenis uji yaitu uji tarik, uji pengembangan, dan uji biodegradasi. Berdasarkan uji tersebut diketahui bahwa penambahan lilin lebah meningkatkan sifat mekanik dari biopolimer dan meningkatkan nilai elongasi sesuai dengan apa yang diharapkan, sehingga membuat plastik lebih fleksibel dan tidak mudah rusak. Derajat pembengkakan pada penelitian ini diharapkan dapat menurun dengan penambahan lilin lebah. Hal ini dikarenakan lilin lebah bersifat hidrofobik yaitu sifat suatu bahan yang tidak menarik air, sehingga biopolimer yang mengandung lilin lebah diharapkan mudah melepaskan air dan menghindari pengembangan. Biopolimer yang dikembangkan selama ini memiliki tingkat biodegradasi yang relatif tinggi dan berdampak negatif artinya menggunakan biopolimer tidak akan membuatnya awet atau tahan lama, yang berkaitan sifat-sifat biopolimer dapat terdegradasi. Dari ketiga poin di atas dapat disimpulkan bahwa pengembangan biopolimer dengan penambahan *beeswax* adalah optimal jika menggunakan glukomanan pati *Konjac* sebagai bahan baku.

Dave dan McCarthy (1997), meneliti tentang larutan dan sifat pengentalan dari *Konjac Glucomannan* (KGM). Dalam penelitiannya, larutan kgm dalam kondisi larutan kristal dapat sangat berguna sebagai produk yang memadat dan akan

mempertahankan orientasi orde molekul yang akan menyebabkan meningkatnya kekakuan dan kekuatan dari material tersebut.

(Chang dkk., 2016b) menyebutkan bahwa pendekatan biologis untuk peningkatan tanah saat ini dipelajari untuk tujuan lingkungan yang dihubungkan untuk meningkatkan kekuatan geser material tanah yang ada. Pencampuran biopolimer langsung pada struktur rantai molekul tinggi, biopolimer tipe glukukan, β -1,3/1,6-glukan, menghasilkan kemudahan yang cukup dalam pelaksanaan pekerjaan akibat reologi pseudoplastik dari biopolimer. Pencampuran pada tanah dan biopolimer yang beragam menghasilkan penguatan yang tinggi dengan jejak karbon yang rendah (Chang dan Cho, 2012).

Chang dkk. (2020), menyebutkan perbaikan tanah berbasis biopolimer (BPST) dapat menjamin keefektifan di bidang rekayasa bersamaan dengan perlindungan terhadap lingkungan. Ke depannya teknologi BPST harus tervalidasi terhadap penerapannya di lokasi kerja, ketahanannya, dan keekonomisannya. Lim dkk., (2021) melakukan uji menggunakan biopolimer berupa glukomanan dan mendapatkan peningkatan hasil nilai kuat geser akibat penambahan konsentrasi glukomanan.

Konjac Glucomannan

Konjac Glucomannan adalah tepung yang diperoleh dari tanaman Porang (*Iles-iles*) yang banyak dibudidayakan oleh petani lokal. Pati ini adalah salah satu biopolimer alami, yang merupakan bentuk polimer sebagai penyimpan energi. Pati termasuk dalam jenis polisakarida dan merupakan kopolimer yang tersusun atas dua jenis unit penyusun yang berbeda, yaitu amilose dan amilopektin yang bisa dipisahkan menurut kelarutannya (Mujahidin, 2019). Pati ini biasanya digunakan menjadi bahan pengikat (*binder*) dan pengisi (*filler*) pada industri makanan dan farmasi. Pengikatan terjadi akibat adanya proses gelatinisasi yang merupakan proses perubahan granula pati di mana granula pati akan menyerap air dan membengkak. Suhu gelatinisasi mempengaruhi perubahan viskositas larutan pati. Proses penyusutan akibat lepasnya air mengakibatkan gel membentuk biopolimer yang stabil (Ginting dkk., 2014). *Konjac Glucomannan* adalah heteropolisakarida yang mempunyai ikatan kimia β -1-4-glikosida dan mempunyai gugus asetil yang dapat memengaruhi nilai kelarutan glukomanan di dalam air.

Beeswax

Beeswax adalah lilin alami yang diproduksi dalam sarang lebah madu. Susunan utamanya antara lain ester asam lemak dan berbagai alkohol rantai panjang. Perkiraan formula kimia untuk *Beeswax* yaitu $C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$, sebagian besar terdiri dari palmitat, palmitoleat, dan ester oleat dari rantai panjang (30-32 karbon) alkohol alifatik. *Beeswax* memiliki nilai titik leleh yang relatif rendah berkisar antara suhu 62°C sampai dengan suhu 65°C (Mujahidin, 2019). Sifat alami lilin yang akan kembali mengeras seiring dengan penurunan suhu dan hidrofobik diharapkan dapat memberikan tambahan kekuatan pada biopolimer dan tanah serta ketahanan terhadap air.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan Bandung. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji geser langsung dan alat uji kuat tekan bebas. Sampel uji geser langsung dibuat dengan diameter 50 mm dan tinggi 20 mm dan uji kuat tekan bebas dengan diameter 38 mm dan tinggi 76 mm.

Pasir yang digunakan adalah pasir silika yang umumnya digunakan pada pengujian kepadatan tanah lapangan dengan alat konus pasir atau Uji *Sand Cone* dan *Konjac Glucomannan* yang di gunakan adalah *Konjac Glucomannan* yang berasal dari tanaman umbi porang. Di-produksi oleh Leititia – Indonesia. *Beeswax* yang digunakan adalah *Beeswax* yang sudah diolah berbentuk butiran.

Pencampuran Sampel Tanah

Pencampuran sampel dilakukan dengan variasi perbandingan biopolimer, metode pencampuran, waktu *Curing* (pemeraman) 3, 7 dan 14 hari serta tegangan normal 50, 100, dan 150 kPa. Dari variasi perbandingan biopolimer dan waktu pemeraman dilakukan uji geser langsung dengan variasi tegangan normal sehingga dapat diketahui nilai kuat geser yang paling optimum.

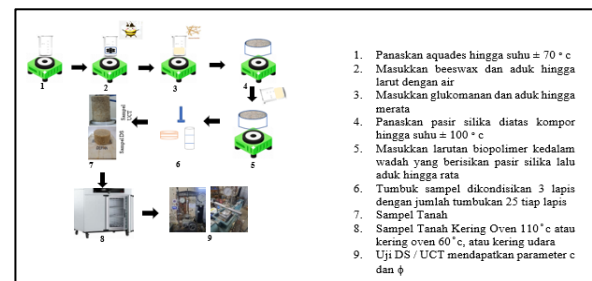
Tabel 2 menunjukkan rangkaian pengujian yang dilakukan. Rangkaian 1 bertujuan untuk mengetahui kuat geser pada sampel dengan variasi komposisi glukomanan dan *Beeswax* untuk mendapatkan komposisi campuran yang paling optimum. Setelah itu, rangkaian 2 dan 3 dilakukan pembuatan sampel menggunakan metode basah dan kering untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kuat geser tanah serta dilakukan proses pemeraman selama 3, 7, dan 14 hari. Selanjutnya,

rangkaiannya 4 dan 5 bertujuan untuk menginvestigasi penggunaan air untuk pencampuran yaitu aquades dan air sumur. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh air tanpa mineral dengan air alami terhadap nilai kuat geser yang didapat dan yang terakhir dilakukan variasi suhu pengeringan sampel untuk menyimulasikan kondisi pembuatan sampel di Laboratorium dengan kondisi nantinya di Lapangan.

Tabel 2. Rencana Uji

Rangkaian	Komposisi Biopolimer		Metode Pencampuran
	<i>Glucomannan</i> (%)	<i>Beeswax</i> (%)	
Pasir Silika	-	-	-
1	0 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,0	2,0 ; 1,5 ; 1,0 ; 0,5 ; 0	Basah
2	1,0 ; 2,0	1,0 ; 2,0	Basah dan Kering
3	2,0	2,0	Basah, Pemeraman 3,7 dan 14 hari
4	2,0	2,0	Basah (Air Aquades dan Air Sumur)
5	2,0	2,0	Basah (Oven 110°C , 60°C dan Kering Udara)

Pencampuran Sampel Tanah Metode Basah



Gambar 1. Skematik Pembuatan Sampel Uji Metode Basah

Pencampuran sampel tanah dengan metode basah adalah pencampuran air dan *Beeswax* larut lalu dicampurkan dengan glukomanan diaduk hingga

rata setelah itu dicampur dengan sampel pasir silika yang sudah dipanaskan lalu diaduk hingga tercampur merata lalu dicetak pada ring uji geser langsung dan kuat tekan bebas. Skematik pembuatan sampel dengan metode pencampuran basah dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Pencampuran Sampel Tanah Metode Kering

Pencampuran sampel tanah dengan metode kering adalah pencampuran glukomanan dengan sampel pasir silika diaduk terlebih dahulu hingga merata lalu ditambahkan air yang sudah dipanaskan bersama *Beeswax* dan diaduk hingga larutan glukomanan dan pasir tercampur merata lalu dicetak pada ring uji geser langsung dan kuat tekan bebas. Skematik pembuatan sampel dengan metode pencampuran kering dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skematik Pembuatan Sampel Uji Metode Kering

Uji Geser Langsung (SNI 3420:2016)

Uji *Direct Shear* dimaksudkan untuk memperoleh besarnya tahanan geser tanah pada tegangan normal tertentu. Percobaan ini dilakukan dengan 3 (tiga) variasi tegangan normal untuk pasir murni dan setiap variasi. Variasi tegangan normal yang diatur dalam pengujian *Direct Shear* ini adalah 50, 100, dan 150 kPa.

Uji Kuat Tekan Bebas (SNI 3638:2012)

Percobaan ini dilakukan dengan meletakkan sampel ke atas mesin tekan lalu menekan sampel secara langsung tanpa menggunakan tegangan keliling sampai terjadi keruntuhan.

Uji Rendam

Percobaan ini dilakukan dengan merendam sampel dalam sebuah bejana hingga terjadi keruntuhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Index Properties Tanah

Nilai perilaku atau sifat fisik dari sampel tanah yang dipakai didapatkan dari pengujian *Index Properties*, yang ditampilkan pada **Tabel 3**. Pengujian yang dilakukan adalah uji berat jenis (*Specific Gravity*), berat isi kering (*Dry Unit Weight*), dan uji analisis saringan. Nilai berat jenis, G_s dari pengujian adalah sebesar 2,66. Nilai berat jenis ini mendekati nilai berat jenis pasir silika yang telah diuji oleh Mousavi dan Ghayoomi (2018) yaitu 2,65.

Nilai berat isi kering yang didapatkan terdiri dari dua nilai, berat isi kering minimum, $\gamma_{dmin} = 14,5 \text{ kN/m}^3$, sedangkan berat isi kering maksimum, $\gamma_{dmax} = 17,6 \text{ kN/m}^3$. Baik γ_{dmin} maupun γ_{dmax} hasil percobaan mendekati nilai γ_{dmin} dan γ_{dmax} yang diperoleh oleh Mousavi dan Ghayoomi (2018).

Berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*), tanah yang diuji termasuk tanah pasir bergradasi buruk atau *Poor Graded Sand (SP)* dengan nilai $C_u = 2,307$ dan $C_c = 0,83$.

Tabel 3. Hasil Uji Index Properties Tanah Pasir

Parameter	Hasil	Acuan
Berat jenis, G_s	2,66	ASTM D 1429
Klasifikasi Tanah	SP (<i>Poorly Graded Sandy</i>)	USCS
Berat isi kering maksimum, γ_{dmax}	17,6 kN/m^3	ASTM D 4253
Berat isi kering minimum, γ_{dmin}	14,5 kN/m^3	ASTM D 4254

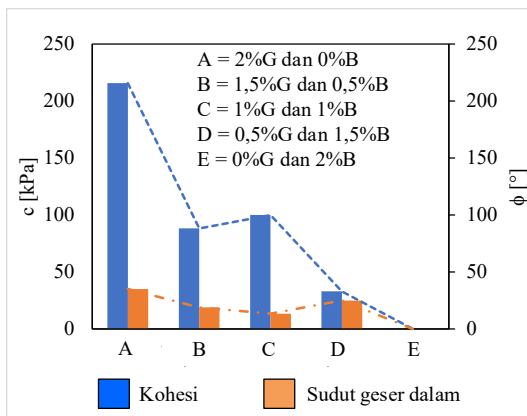
Hasil Uji Kuat Geser

Pengaruh Campuran Glukomanan dan *Beeswax*

Gambar 3 menunjukkan hasil dari pengujian yang dilakukan untuk mengetahui efek penambahan Glucomannan dengan komposisi tertentu terhadap sampel pasir Silika. Pengujian *Direct Shear* dilakukan untuk mengetahui perubahan kekuatan geser pada sampel tanah. Dari hasil pengujian didapat konsentrasi campuran optimum adalah 50% glukomanan dan 50% *Beeswax* dalam suatu campuran biopolimer. Apabila konsentrasi biopolymer yang digunakan dalam campuran

sebesar 2% dari berat pasir maka komposisi campuran yang digunakan adalah 1% berat glukomanan dan 1% berat *Beeswax* dari berat pasir. Pada konsentrasi glukomanan 2% menunjukkan nilai kuat geser paling besar dikarenakan penambahan jumlah glukomanan akan meningkatkan nilai kuat geser tanah. Penambahan komposisi *Beeswax* yang melebihi 50 % dari komposisi campuran dalam biopolimer menyebabkan penurunan nilai kuat geser, hal ini disebabkan karena *Beeswax* secara mandiri bukan merupakan komponen pengikat, melainkan sebatas pada komponen yang hidrofobik atau tidak suka air. Komposisi 1% glukomanan ditambah 1% *Beeswax* dalam % campuran biopolimer memiliki nilai kohesi tertinggi sebesar 100 kPa. Sedangkan pada sampel dengan 100 % *Beeswax* dalam 2 % campuran biopolimer sampel sudah hancur dikarenakan tidak ada komponen pengikat dalam sampel.

Nilai sudut geser dalam memperlihatkan nilai berkisar antara 13°-35°. Nilai sudut geser dalam yang diperoleh juga bervariasi efek dari penambahan *Beeswax*.



Gambar 3. Kurva nilai kohesi dan sudut geser dalam terhadap komposisi biopolimer

Efek Penggunaan Jenis Air Terhadap Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efek air yang digunakan dalam pembuatan sampel. Sampel dibuat menggunakan air *Aquades* dan air sumur lalu dilakukan uji geser langsung untuk mengetahui perbedaan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang didapat.

Tabel 4. Nilai kuat geser tanah dengan variasi jenis air

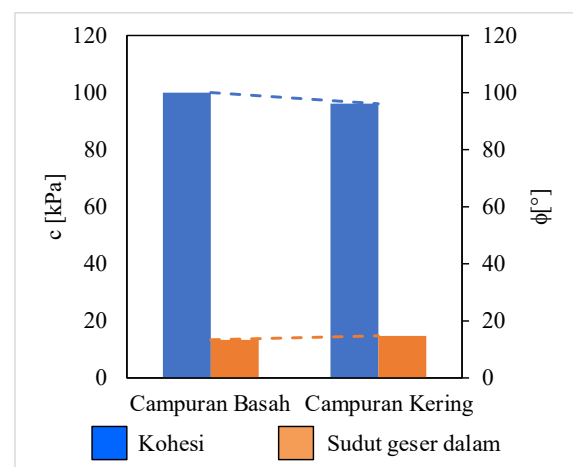
Method	Komposisi	C (kPa)	ϕ (°)
Basah, <i>Aquades</i>	2% G + 2% B	264,8	44,7
Basah, Air sumur	2% G + 2% B	137,3	30,3

Dari hasil pengujian pada **Tabel 4** diketahui bahwa air *aquades* memberikan nilai kuat geser yang lebih besar dibandingkan dengan air sumur. Nilai kohesi dan sudut geser dalam meningkat sebesar 127,5 kPa dan 14,36°.

Metode Pencampuran Basah dan Kering

Gambar 4 menunjukkan hasil kuat geser yang didapat dari pencampuran yang dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode pencampuran basah dan metode pencampuran kering. Komposisi biopolimer yang digunakan adalah 1% glukomanan dan 1% *Beeswax* yang diketahui sebagai komposisi paling optimal sesuai dengan pengujian sebelumnya. Pengujian *Direct Shear* dilakukan untuk mengetahui perubahan kekuatan geser pada sampel tanah.

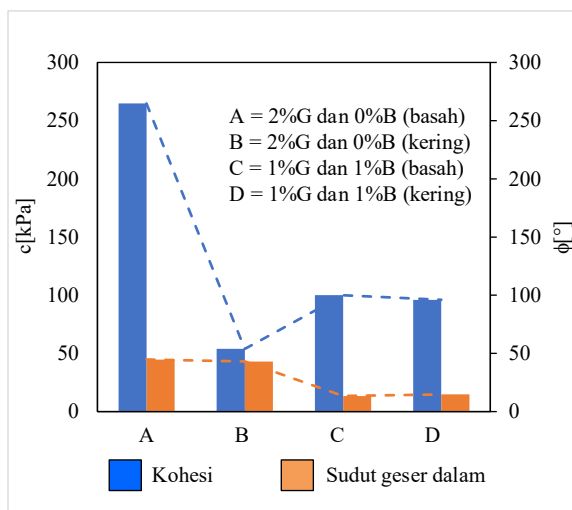
Metode pencampuran basah memberikan nilai kohesi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran kering. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Seodkk. (2021) yang menyebutkan pencampuran basah membuat campuran biopolimer ke dalam tanah lebih merata. Pencampuran metode basah dilakukan dengan cara memanaskan air *Aquades* lalu memasukkan *Beeswax* hingga larut setelah itu memasukkan glukomanan dan diaduk hingga merata. Setelah itu campuran biopolimer dimasukkan ke dalam wadah sampel pasir yang telah dipanaskan. Hal ini bertujuan menjaga *Beeswax* agar tetap cair selama proses pengadukan. Setelah itu sampel dicetak ke dalam ring, lalu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 110 °C selama 24 jam dan langsung dilakukan pengujian geser langsung.



Gambar 4. Kurva kohesi dan sudut geser dalam terhadap variasi metode pencampuran

Efek Penambahan Konsentrasi Biopolimer

Gambar 5 menunjukkan pengujian yang dilakukan sebagai uji konfirmasi atas pengujian sebelumnya yang menyatakan bahwa komposisi, metode pencampuran, dan efek penambahan *Beeswax* memberikan hasil kekuatan geser yang lebih baik. Maka pada percobaan ini konsentrasi biopolimer ditambahkan untuk melihat efek kenaikan nilai kuat geser tanah. Nilai kuat geser pada tanah dengan penambahan konsentrasi biopolimer menjadi 2 kali lipat. Metode pencampuran yang digunakan adalah metode basah dengan pengeringan oven 110°C. penambahan konsentrasi biopolimer memberikan efek terhadap peningkatan nilai kohesi dari 100 kPa menjadi 264,78 kPa. Peningkatan nilai kohesi akibat penambahan biopolimer disebabkan oleh formasi hidrogel yang mengikat partikel tanah melalui ikatan hidrogel bersama dengan atau tanpa ikatan ion tergantung pada biopolimer yang digunakan. (Muguda. dkk., 2020). Hidrogel terbentuk melalui ikatan antara biopolimer yang digunakan dengan air dan awalnya dalam keadaan kenyal (± 1 jam), dimana secara bertahap berubah mengeras seperti kaca saat tanah mengering. Pengaruh penambahan *Beeswax* memberikan efek peningkatan nilai kuat geser tanah, hal ini sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Chang dkk., (2016), yang menyebutkan bahwa penambahan kation, kation logam, dan asam organik dapat meningkatkan kekuatan ikatan biopolimer dalam siklus basah.



Gambar 5. Kurva nilai kohesi dan sudut geser dalam efek penambahan konsentrasi biopolimer dan metode pencampuran

Nilai sudut geser dalam pada konsentrasi biopolimer (2% glukomanan ditambah 2% *Beeswax*) tidak mengalami perubahan baik itu metode

pencampuran basah maupun dengan metode pencampuran kering berkisar antara 43,06° - 44,69°. Pada percobaan ini juga menjadi koreksi sudut geser pada sampel dengan konsentrasi biopolimer 2 % dengan komposisi 1 % glukomanan ditambah 1 % *Beeswax*, dikarenakan ke depannya konsentrasi yang akan digunakan adalah 2% glukomanan ditambah dengan 2% *Beeswax*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan Chang dkk, yang menyebutkan bahwa komposisi biopolimer yang paling optimum adalah 2 %.

Efek Perendaman Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah

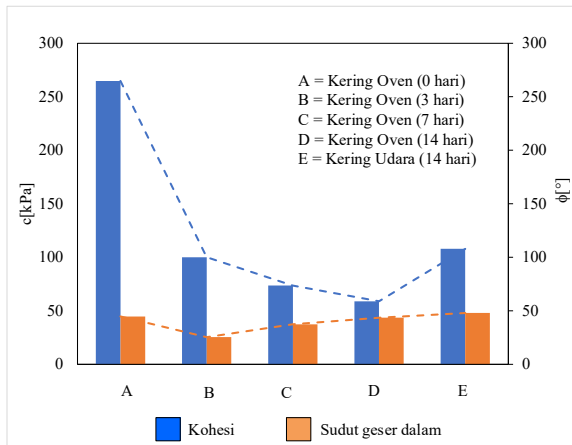
Gambar 6, menunjukkan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui efek siklus basah pada sampel pasir dengan biopolimer. Perendaman dilakukan dengan variasi waktu 3 jam, 12 jam, dan 24 jam. Setelah perendaman selesai lalu sampel diuji menggunakan alat uji geser langsung untuk mengetahui nilai kuat gesernya.

Dapat terlihat lama perendaman mempengaruhi nilai kuat geser tanah, tetapi setelah 12 jam nilai kohesi relatif sama dengan perendaman 24 jam. Efek perendaman menunjukkan adanya penurunan nilai kohesi tanah akibat lama waktu perendaman. Semakin lama waktu perendaman nilai kohesi semakin kecil dan mendekati nol. Hal ini kemungkinan sampel kehilangan ikatan antar partikel disebabkan menurunnya ikatan biopolimer oleh air sehingga perilaku sampel kembali seperti pasir lepas pada umumnya dan sudut geser dalam tanah meningkat akibat waktu perendaman. Nilai sudut geser dalam pada waktu perendaman 12 jam dan 24 jam relatif berkisar di 30°. Pada percobaan dilakukan pengeringan sampel dengan suhu 100°C dan pengeringan sampel dengan suhu ruang 25°C untuk melihat efek pengeringan sampel terhadap waktu pemeraman.

Nilai kohesi akan semakin turun sesuai dengan waktu pemeraman. Semakin lama waktu pemeraman yaitu pada 14 hari nilai kohesi turun secara drastis dari 264,78 kPa menjadi 58,84 kPa. Sedangkan nilai kohesi pada sampel dengan pengeringan kering udara pada waktu pemeraman 14 hari mempunyai nilai kohesi yang sama dengan sampel yang dikeringkan dengan suhu 110°C pada waktu pemeraman 3 hari. Besarnya sudut geser dalam (φ) mengalami penurunan pada waktu pemeraman 3 dan 7 hari tetapi pada waktu pemeraman 14 hari sudut geser dalam (φ) kembali naik

mendekati nilai sudut geser dalam pada kondisi pemeraman 0 hari. Pada sampel yang dikering-udarkan dengan waktu pemeraman 14 hari, nilai sudut geser dalam sebesar $47,95^\circ$.

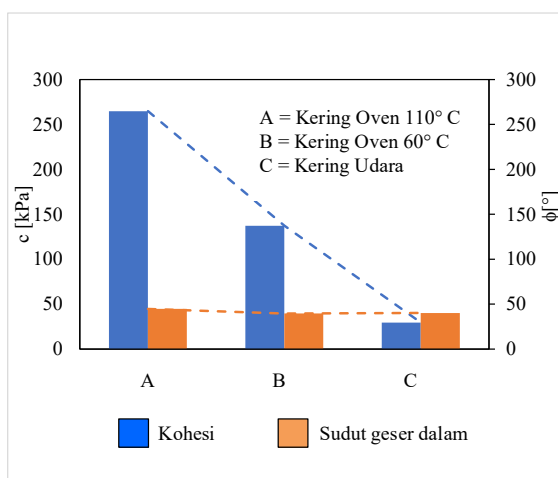
Nilai kekuatan geser semakin menurun seiring dengan berjalannya waktu. Tetapi terdapat perbedaan pada sampel dengan metode pemanasan kering udara. Pengujian ini menunjukkan terjadinya degradasi pada sampel pasir yang dicampur biopolimer.



Gambar 6. Kurva kohesi dan sudut geser dalam terhadap variasi waktu pemeraman

Efek Suhu Pemanasan Sampel

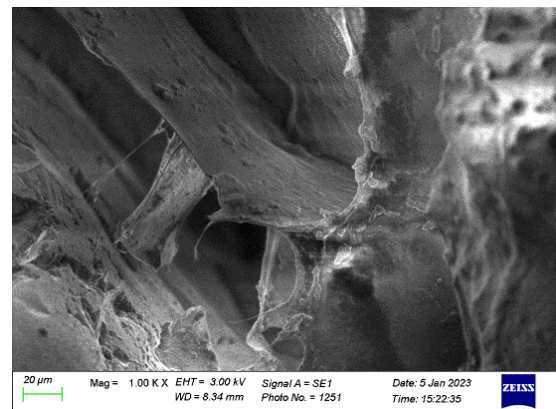
Gambar 7 menunjukkan pengujian dengan variasi suhu pemanasan setelah pencampuran. Pengujian *Direct Shear* dilakukan untuk mengetahui perubahan kekuatan geser pada sampel tanah. Suhu yang dipakai adalah 110°C , 60°C , dan kering udara. Metode pencampuran tanah yang digunakan adalah metode pencampuran basah sebagai metode pencampuran yang paling optimum.



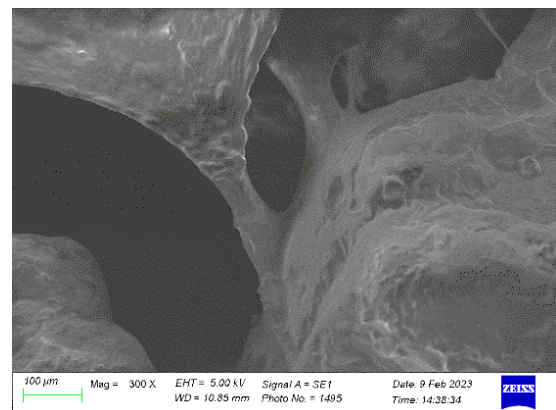
Gambar 7. Nilai kohesi dan sudut geser dalam dengan variasi suhu pengeringan

Pengeringan sampel menggunakan suhu 110°C memberikan hasil kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan sampel menggunakan suhu 60°C atau hanya dengan pengeringan udara dengan suhu ruang. Nilai kohesi dan sudut geser pada pengeringan 110°C sebesar $264,78\text{ kPa}$ dan $44,69^\circ$ sedangkan pada pengeringan 60°C sebesar $137,3\text{ kPa}$ dan $39,5^\circ$. Pengaruh suhu pemanasan pada saat pencampuran memberikan efek yang cukup banyak terhadap nilai kekuatan geser tanah pasir. Suhu 110°C yang umum digunakan dalam mencari nilai kadar air memberikan hasil yang lebih optimum.

Hasil Uji Mikroskop Digital dan SEM



Gambar 8. Hasil foto SEM sampel pasir silika + 2 % glukomanan + 2 % beeswax, kering oven, tanpa direndam



Gambar 9. Hasil foto SEM sampel pasir silika + 2 % glukomanan + 2 % beeswax, kering oven, direndam 24 jam

Pengujian ini dilakukan pada variasi sampel tertentu dengan tujuan untuk mengetahui ikatan antar partikel pasir dengan biopolimer *Glucomannan* dan *Beeswax*. Ikatan antar partikel ini

menjadikan nilai kuat geser tanah pasir semakin meningkat. Hasil uji SEM pada **Gambar 8** memperlihatkan bahwa penguatan sampel tanah pasir terbukti dari adanya ikatan biopolimer yang serupa dengan lem. Untuk memastikan ikatan yang terjadi maka dilakukan pengujian pada sampel setelah dilakukan perendaman. **Gambar 9** menunjukkan apabila sampel kembali mengering ikatan biopolimer dengan sampel pasir masih ada.

Hasil Uji Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat geser *Undrained* pada setiap campuran tanah dengan variasi komposisi biopolimer yang dianggap paling optimum. Nilai kohesi *Undrained* dengan komposisi biopolimer 2 % glukomanan +2 % *Beeswax* dengan variasi waktu pemeraman dan jenis air yang digunakan, metode pencampuran basah dengan pengeringan sampel menggunakan oven dengan suhu 110°C dan nilai *Undrained Shear Strength* yang didapat adalah 525,83 kPa.

Hasil Uji Rendam

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sampel pasir yang sudah ditambah biopolimer dan efek dari *Beeswax* yang bersifat hidrofobik. Komposisi biopolimer 2% memiliki ketahanan terhadap perendaman paling baik. Sampel pasir belum mengalami degradasi hingga 7 hari perendaman, dan pada 10 hari perendaman sampel mengalami keruntuhan. Glukomanan ditambah dengan 2 % *Beeswax* dengan metode pencampuran basah dan pengeringan sampel kering udara mempunyai nilai ketahanan yang paling baik.

KESIMPULAN

Perbandingan konsentrasi biopolimer campuran *Glucomannan* dan *Beeswax* yang paling optimum adalah sebesar 50% : 50% pada satu konsentrasi biopolimer. Hal ini didapatkan dari nilai kuat geser dengan variasi persentase campuran *Glucomannan* dan *Beeswax*.

Penambahan biopolimer berupa *Glucomannan* dan *Beeswax* memberikan peningkatan kuat geser tanah pasir sebesar 100 – 264,78 kPa dengan konsentrasi 1 – 2% dari berat pasir. Peningkatan konsentrasi biopolimer meningkatkan nilai kuat geser tanah khususnya nilai kohesi tanah pasir. Penambahan *Beeswax* memberikan peningkatan kuat geser tanah pasir sebesar 3,89 – 49,03 kPa dengan konsentrasi 1 – 2% dari berat pasir

dibandingkan dengan campuran *Glucomannan* dan pasir saja. Selain itu Suhu pemanasan setelah pencampuran mempengaruhi nilai kuat geser dimana suhu 110 °C mempunyai nilai kuat geser yang lebih besar daripada suhu pemanasan 60 °C. Penambahan 2% *Glucomannan* ditambah 2% *Beeswax* memberikan hasil ketahanan bentuk paling baik apabila sampel dilakukan perendaman. Sampel dapat bertahan sampai 10 hari dengan sisa sampel sebesar 35% dari bentuk semula. Selain itu dapat disimpulkan juga Penambahan *Beeswax* memberikan dampak positif terhadap peningkatan kuat geser tanah pasir dan ketahanan pada kondisi terendamnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2010). *ASTM D-1429 Standard Test Methods for Specific Gravity of Water and Brine*.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2000). *ASTM D-4253 Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table*.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2000). *ASTM D-4254 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 3638:2012 Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 3420:2016 Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (Third). John Wiley & Sons, Inc.
- Chang, I., & Cho, G-C. (2012). *Strengthening of Korean residual soil with b-1,3/1,6-Glucan Biopolymer*. *Construction and Building Materials*.30, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.030>
- Chang, I., Im, J., & Cho, G-C. (2016a). *Geotechnical Engineering Behaviors of Gellan Gum Biopolymer Treated Sand*. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(10), 1658–1670. <https://doi.org/10.1139/cgj-2015-0475>
- Chang, I., Im, J., & Cho, G-C. (2016b). *Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Environmentally-Friendly and Sustainable*. *Geotechnical Engineering Sustainability*, 8(3), 251. <https://doi.org/10.3390/su8030251>
- Chang, I., Lee, M., Tran, A. T. P., 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*, 24, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100385>
- Das, B. M. (2010). *Principles Of Geotechnical Engineering* (G. Hilda (ed.); Seventh Ed). Cengage Learning.
- Dave, V., McCarthy, S. P. (1997). *Review of Konjac Glucomannan*. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 5, 237-241.
- Ginting, M. H. S., Hasibuan, R., Sinaga, R. F., Ginting, G., (2014). *Pengaruh Variasi Temperatur Gelatinisasi Pati Terhadap Sifat Kekuatan Tarik dan Pemanjangan Pada Saat Putus Bioplastik Pati Umbi Talas*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2014, ISSN : 2407-1846.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (S. Karen (ed.)). Prentice-Hall.
- Lim, A., Iskandar, M. R., Albrecht, Y. (2021). *Improvement of soil strength using glucomannan biopolymer for loose sand*. *IOP*
- Mousavi, S., Ghayoomi, M. (2018). *Dynamic shear modulus of microbial induced partially saturated sand*. IS Atlanta-B2G Atlanta, Atlanta, GA. <https://doi.org/335703423>
- Muguda, S., Lucas, G., Hughes, P. N., Augarde, C. E., Perlot, C., Bruno, A.W., Gallipoli, D. (2020). *Durability and hygroscopic behaviour of biopolymer stabilised earthen construction materials*. *Construction and Building Materials*. 259, 119725.
- Mujahidin, F. (2019). *Pengembangan Biopolimer Berbahan Dasar Pati Alami dengan Penambahan Beeswax Sebagai Plastik Ramah Lingkungan*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- O'Kelly, B. C., & Aminpour, M. (2015). *Applications of Biopolymers in Dam Construction and Operation Activities*. *Conference*. Proceedings of the Second International Dam World Conference (DW2015)At: LNEC, Lisbon, Portugal.
- Plank, J. (2005). *Applications of Biopolymers in Constructio Engineering*. In *Biopolymers*. N Biopolymers Online; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Seo, S., Lee, M., Im, J., Kwon, Y. M., Chung, M. K., Cho, G-C., Chang, I. (2021). *Site application of biopolymer-based soil treatment (BPST) for slope surface protection: in-situ wet-spraying method and strengthening effect verification*. *Construction and Building Materials*. 307, 124983. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124983> Conference Series: Earth and Environmental Science 871(1),012056