



PERUBAHAN NILAI KUAT TEKAN LEMPUNG LUNAK DISTABILISASI DENGAN KAPUR DAN LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA

AZRA ZULNASRI¹, SOEWIGNJO AGUS NUGROHO^{2*}, FERRY FATNANTA²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, Indonesia

²Prodi Magister Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, Indonesia

*Corresponding author: ✉ nugroho.sa@eng.unsri.ac.id

Naskah diterima : 11 September 2020. Disetujui: 10 Januari 2021

ABSTRAK

Suatu bangunan infrastruktur yang akan dibangun terkait langsung dengan aspek yang paling penting yaitu tanah pendukung, karena berfungsi sebagai menerima dan menahan beban struktural di atasnya. Dalam kenyataannya, tidak semua tanah mempunyai perilaku fisik dan mekanis yang baik, salah satu contohnya ditandai dengan kadar air yang tinggi serta kuat tekan maupun daya dukung tanah yang rendah. Untuk mengevaluasi kemungkinan terjadinya kondisi tersebut maka dilakukan stabilisasi terhadap tanah agar memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Stabilisasi tanah yang akan ditelaah yaitu perbaikan tanah lempung dengan dicampur zat aditive yaitu kapur, abu terbang serta abu dasar. Kapur dan geopolimer abu batubara, yaitu abu terbang abu dasar, sudah banyak digunakan untuk meningkatkan kuat geser dan daya dukung tanah. Tujuan penelitian adalah mengamati perilaku tanah lempung dengan kembang susut tinggi yang distabilisasi dengan kapur, abu terbang dan abu dasar. Perilaku yang diamati adalah peningkatan kekuatan tanah dengan pengujian laboratorium, yaitu nilai kuat tekan bebas Tanah. Pada penelitian ini pengujian kuat tekan dilakukan dengan 6 perlakuan yaitu: tanpa pemeraman dan tanpa perendaman; tanpa pemeraman dengan perendaman; pemeraman 7 hari dengan tanpa perendaman; pemeraman 7 hari dan perendaman; pemeraman 28 hari dan tanpa perendaman, serta pemeraman 28 hari dan perendaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tersebut akan semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu pemeraman. Begitu juga dengan semakin bertambahnya persentase zat aditif maka nilai kuat tekan juga cenderung semakin meningkat. Sedangkan dengan perlakuan pemeraman terhadap sampel mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan tertinggi berada pada Variasi VI sebesar 1506,158 kPa pada kondisi pemeraman 28 hari dan tanpa perendaman dimana persentase bahan tambah yang terkandung yaitu 25% abu terbang, 15% abu dasar dan 5% kapur. Sedangkan nilai Kuat Tekan Bebas terendah pada Variasi III sebesar 120,442 kPa pada kondisi tanpa pemeraman dan perendaman dengan persentase bahan tambah yang terkandung yaitu 10% abu terbang, 15% abu dasar dan 5% kapur.

Kata kunci : Abu dasar; Abu terbang; Kapur; Lempung; Stabilisasi

1. PENDAHULUAN

Tanah kohesif merupakan jenis tanah diameter butiran halus yang berukuran kecil dari 0,002 mm dan mempunyai sifat sangat lengket serta potensi kembang susut yang tinggi bila terkena air. Jika tanah lempung tersebut memiliki kandungan air yang banyak maka tanah akan mengembang sehingga menyebabkan kekuatan tanah rendah, sebaliknya jika kandungan airnya berkurang maka keadaan tanah akan menyusut sehingga mengakibatkan pecah-pecah dipermukaan namun kekuatan tanah meningkat. Besarnya pengembangan dan penyusutan yang terjadi pada tanah tersebut dapat mengakibatkan kerugian dalam konstruksi, untuk mengevaluasi kemungkinan terjadinya kondisi seperti tersebut maka dilakukan stabilisasi terhadap tanah agar memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Definisi B3 (bahan berbahaya dan beracun) adalah zat, energi, atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari, merusak, atau bahaya bagi lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia (UU No. 32/2009). Materi B3 dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu B3 yang dapat dimanfaatkan, B3 yang terbatas dimanfaatkan, dan B3 yang dilarang digunakan (perpu No.74/2001). Abu dasar dan abu terbang, sebagai abu limbah industri dengan sumber energi batubara bukan merupakan limbah B3 yang dilarang dimanfaatkan untuk keperluan lain.

Secara umum stabilisasi tanah merupakan alternatif dalam perbaikan tanah untuk meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi potensi pengembangan dan meningkatkan durabilitas. Stabilisasi tanah tersebut merupakan usaha yang selalu dilakukan dalam perbaikan tanah, sehingga sampai sekarang stabilisasi pada tanah menjadi kajian yang menarik untuk diteliti baik cara pelaksanaannya maupun bahan-bahan yang dipakai. Umumnya, stabilisasi tanah dikelompokkan sebagai stabilisasi mekanis dan kimia (Hardiyatmo, 2010). Proses stabilisasi mekanis dilakukan dengan menggabungkan dua macam tanah atau lebih yang memiliki gradasi berbeda, sedangkan stabilisasi secara kimiawi dilakukan dengan cara mencampurkan tanah dengan suatu bahan tambah yang mengikat seperti kapur dan abu batu bara.

Abu terbang memiliki sifat pozzolan karena mengandung silika dan alumina yang tinggi. Bahan pozzolan tersebut apabila tercampur dengan kapur dan air akan terjadi reaksi serta membentuk ikatan, sehingga abu terbang dapat digunakan untuk bahan stabilisasi lempung yang dapat meningkatkan daya dukung tanah (Pinasang, 2016). Pemanfaatan abu terbang sebagai bahan stabilisasi, baik dicampur dengan pozzolan lain atau tidak, sudah terbukti meningkatkan daya dukung (Apriyanti dkk., 2014; Darmawan, Rachmansyah, & Zaika, 2018; Huri, Yulianto, R W, & Hardiyati, 1989; Kulkarni, Padalkar, & Joshi, 2017; Mohanty, 2015), kuat geser (Davidson, 1962; Harianto et al., 2017; Wardani, 2008), dan menurunkan kembang susut (Anak Geliga & Awg Ismail, 2010; Budi dkk., 2003; Harianto dkk., 2017). Menurut Rama Indera Kusuma (Kusuma dkk., 2013), hasil pengujian CBR menunjukkan bahwa banyaknya penambahan abu terbang sampai sebesar 30% dengan lama pemeraman selama 28 hari berpengaruh sangat besar pada peningkatan nilai CBR. Abu dasar, sebagai hasil pembakaran batubara, juga banyak digunakan sebagai bahan stabilisasi lempung ((Bhurtel & Eisazadeh, 2019; Devi et al., 2018; Le et al., 2019; Purnama, 2018).

Efektifitas pemanfaatan abu terbang dibandingkan dengan abu dasar sebagai hasil pembakaran batubara, dalam meningkatkan dan merubah sifat lempung telah dilakukan oleh Dissanayake ((Dissanayake dkk., 2017). Pemakaian bersama abu terbang dan abu dasar untuk memperbaiki sifat fisik, mekanik dan kuat geser tanah masih jarang. Stabilisasi lempung ekspansif dengan bahan tambah kapur dengan kadar abu batubara tertentu,

dimana akan diamati kombinasi abu terbang dan abu dasar akan ditelaah dengan pengujian Kuat Tekan Bebas.

1.1. Karakteristik dan Stabilitas Tanah

Tanah merupakan pendukung fondasi dari suatu bangunan yang menerima beban struktur diatas nya. Tanah kohesif sebagian besar terdiri dari material mikroskopis dan sub-mikroskopis berbentuk kepingan-kepingan pipih. Lempung ekspansif mempunyai potensi pengembangan yang cukup tinggi apabila berinteraksi dengan air, ini dikarenakan lempung ekspansif memiliki ciri khas yaitu kapasitas pertukaran ion yang tinggi. Jika kadar air meningkat, tanah lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan kenaikan tekanan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, jika kandungan air berkurang sampai nilai batas susutnya, lempung ekspansif akan mengalami penyusutan yang cukup tinggi (Chen, 2012). Atau dengan kata lain, lempung ekspansif memiliki sensitiftas yang sangat tinggi terhadap perubahan kadar air. (Supriyono, 1997).

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat lempung ekspansif dibedakan menjadi dua faktor yaitu: komposisi tanah dan pengaruh lingkungan. Faktor yang pertama dapat diketahui dengan mengadakan percobaan di laboratorium pada contoh tanah terusik. Hal-hal yang perlu didalam percobaan antara lain: tipe dan jumlah mineral, tipe kation didalam tanah, luas permukaan, distribusi ukuran partikel, dan air pori. Faktor lingkungan dapat diketahui melalui pengujian laboratorium pada contoh tanah asli. (Suhardjito, 1989).

Kadar air (*water content*) merupakan perbandingan antara berat air suatu tanah yang terkandung terhadap berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah pada umumnya dinyatakan dalam persen. Kandungan kadar air tanah tersebut dapat dijadikan acuan dalam menentukan batas konsistensi suatu tanah. Batas konsistensi tanah diantaranya yaitu batas cair, batas plastis dan batas susut. Batas-batas ini dikenal sebagai *Atteberg limit*. Batas susut merupakan suatu batas kadar air dimana apabila terjadi pengurangan kadar air tanah tersebut tidak mengakibatkan perubahan volume dari tanah tersebut. Sedangkan batas plastis dapat diartikan sebagai batas terendah kadar air dimana tanah tersebut masih bersifat plastis. Batas cair merupakan batas atas dari daerah plastis, dimana kandungan air tanah pada batas antara kondisi cair dan kondisi plastis.

Pemadatan adalah bagian terpenting dari proses konstruksi. Pemadatan ini digunakan untuk mendukung entitas struktural seperti fondasi bangunan, jalan raya, jalan setapak dan struktur penahan tanah. Selain itu pada umumnya, pemadatan tanah bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah. Kepadatan tanah sangat berpengaruh pada kuat geser dan daya dukung, sedangkan kapasitas dukung dipengaruhi oleh kadar air. Dimana jika suatu tanah memiliki kandungan air yang tinggi, maka kapasitas dukung tanah yang diberikan semakin rendah, dan sebaliknya jika terkandung air yang sedikit mengakibatkan keadaan tanah semakin padat maka kapasitas dukung yang diberikan akan semakin besar.

Kuat tekan bebas adalah tekanan arah tegak lurus benda uji ketika mengalami keruntuhan atau tegangan aksial pada saat deformasi mencapai 20%. Pengujian Kuat Tekan Bebas merupakan metode pengujian geser tanah yang paling populer, karena salah satu pengujian tercepat dan termurah untuk mengukur kekuatan geser. Pengujian ini digunakan terutama untuk tanah kohesif, sedangkan untuk pasir kering atau lempung yang rapuh tidak sesuai. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan tanah menerima tekanan sampai tanah tersebut runtuh atau sudah mencapai penurunan 20% dari tinggi awalnya, selain itu juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut.

Pengujian kuat tekan ini dapat dilakukan pada sampel *undisturbed* dan *remolded*. Hasil dari pengujian ini didapat nilai kuat tekan maksimum tanah uji, sehingga akan didapatkan nilai sensitivitas tanah yang berguna untuk mengetahui bagaimana perilaku tanah jika diberikan gangguan dari luar.

Stabilisasi tanah adalah perubahan tanah untuk meningkatkan sifat-sifat fisiknya. Pengujian stabilisasi tanah ini bertujuan agar meningkatkan kekuatan geser tanah dan mengontrol sifat susut tanah, sehingga dapat meningkatkan kapasitas dukung dasar untuk mendukung perkerasan dan fondasi. Stabilisasi tanah ini biasanya diterapkan pada jalan raya, area parkir, bandara dan banyak pengembangan proyek lainnya dimana jika sub-tanah tidak cocok dengan konstruksi. Umumnya stabilisasi tanah yang biasa digunakan ada dua jenis:

1. Stabilisasi Mekanis, yaitu dengan cara mencampur atau mengaduk dua jenis tanah yang berbeda, selain itu juga dapat dilakukan dengan menggali tanah yang buruk dan mengganti dengan material granular dari tempat lain.
2. Stabilisasi dengan Bahan pencampur (*additive*), yaitu dengan cara mencampurkan tanah dengan bahan kimia seperti semen, kapur, abu batu bara dan lain-lain dengan tujuan agar terjadi reaksi yang dapat meningkatkan daya dukung tanah.

1.2. Kapur dan Abu Terbang

Senyawa kalsium oksida (CaO) atau kapur berasal pembakaran dari batuan karbonat pada suhu yang sangat tinggi. Stabilisasi tanah dengan kapur sudah umum digunakan dalam konstruksi. Menurut Hicks (*Alaska Soil Stabilization Guide*, 2002), kapur merupakan bahan yang cocok digunakan untuk lempung plastisitas tinggi, kapur bereaksi dengan air tanah sehingga merubah sifat tanah dan mengurangi kelunakan dan kelekatan lempung. Rollings (Ikeagwuani & Nwonu, 2019) berpendapat, mekanisme reaksi antara kapur, air, dan lempung berupa pertukaran kation yang memicu terjadinya penggumpalan dengan cepat sehingga butiran menjadi lebih besar dari sebelum terjadinya reaksi pozzolanic. Sifat ekspansif lempung akan berkurang drastis dan tanah menjadi terpadatkan karena butiran kapur. Stabilisasi dengan kapur sudah banyak dilakukan untuk perbaikan lapis fondasi perkerasan dan fondasi bangunan.

Abu terbang adalah bubuk halus yang merupakan bagian hasil pembakaran terbesar batubara dengan ciri-ciri bewarna keabu-abuan, ringan dan bersifat non-plastik. Penggunaan *abu terbang*, limbah hasil pembakaran batubara, sebagai bahan stabilisasi tanah alami (geopolimer) karena mempunyai sifat seperti semen. Abu terbang bersifat pozzolan, suatu zat yang mengandung bahan alumina dan silika yang membentuk semen jika dicampur dengan air. Ketika dicampur dengan kapur dan air, abu terbang membentuk senyawa yang mirip dengan semen Portland. Selain itu, pemanfaatan abu terbang sebagai geopolimer juga dapat mengurangi permasalahan susut dan retak yang biasanya terjadi pada semen sebagai bahan stabilisasi.

Abu terbang mengandung unsur kimia antara lain adalah silika (SiO₂), Alumina (Al₂O₃), Feri Oksida (Fe₂O₃), dan Calsium Oksida (CaO). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu Magnesium Oksida (MgO), Titanium Oksida (TiO₂), alkailin (Na₂O dan K₂O), Sulfur Trioksida. (SO₃), Pospor Oksida (P₂O₅) dan karbon. Abu terbang dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai pengganti batuan kapur. Abu terbang yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/in²). Ukuran ini relative kecil dan ringan. Disamping dimanfaatkan di industri semen, abu terbang dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran asphalt (*ready mix*), campuran beton (*concrete*), dicetak menjadi paving block/bataco.

Abu dasar (abu dasar) adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat daripada *abu terbang*, sehingga abu dasar akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang. *Abu dasar* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu-abu gelap berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Pada waktu pembakaran batubara akan menghasilkan sisa pembakaran yang terdiri dari 80% berupa *abu terbang* dan sisanya 20% berupa *abu dasar*. Pemilihan penggunaan *abu dasar* didasarkan atas ketersediaan *abu dasar* yang cukup melimpah dan beberapa kandungan kimia yang ada pada *abu dasar* seperti Silika, Alumunia, Titanium, Cad dan Ferro memiliki peranan dalam megikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah (Purnama, 2018)

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian yaitu untuk melihat karakteristik lempung plastisitas tinggi yang distabilisasi kapur dengan abu terbang dan abu dasar. Pengaruh perawatan dan perendaman pada nilai kuat tekan bebas lempung plastisitas tinggi yang distabilisasi dengan kapur, abu terbang, dan abu dasar dalam komposisi. Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pengembangan Iptek, terutama dalam perbaikan lempung ekspansif dengan Geopolimer. Manfaat lain, pemanfaatan abu terbang dan abu batu dasar akan mengurangi deposit limbah abu batubara produksi industri setiap tahunnya.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Universitas Riau yang meliputi pengujian-pengujian sifat fisik tanah seperti batas-batas konsistensi, analisis saringan dan pengujian tekan bebas untuk mengetahui tegangan geser tanah asli maupun tanah yang sudah distabilisasi. Bahan limbah industri yang digunakan berupa hasil pembakaran batubara, yaitu abu terbang dan abu dasar, dan kapur. Penggunaan limbah juga dapat sedikit mengurangi penumpukan abu hasil pembakaran batubara.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan Penelitian Dan Lokasi Pengambilan Benda Uji

Bahan penelitian yang digunakan adalah benda uji terganggu (*disturbed sample*) yaitu campuran antara tanah lempung, kapur (*lime*), *abu dasar* dan *abu terbang*.

Lokasi pengambilan tanah lempung yang digunakan berasal dari daerah Muara Fajar, Kota Pekanbaru. Tanah lempung yang akan digunakan ini diambil dengan cangkul kemudian dimasukkan kedalam karung. Sedangkan bahan tambah yang digunakan dalam stabilisasi ini seperti *abu dasar* dan *abu terbang* berasal dari PLTU Tenayan Raya, Kota Pekanbaru dan Kapur merupakan produksi dari PT Brataco.

2.2. Penyiapan Benda Uji

Benda uji yang telah diambil kemudian dipotong berukuran kecil lalu dijemur guna mengurangi kadar air yang terkandung di dalam tanah. Setelah dijemur hingga cukup kering, benda uji tersebut selanjutnya dihancurkan kemudian disaring dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam untuk mendapatkan kondisi kering benda uji. Jumlah variasi serta deskripsi campuran tanah yang akan dibuat dalam penelitian ini dirincikan dalam **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Jumlah Variasi dan Deskripsi Campuran Tanah

VARIASI CAMPURAN		Kapur	Campuran Lempung + Abu terbang + Abu dasar		
		(Lime)	Lempung	Abu terbang	Abu Dasar
		5% L	95% CFB		
Variasi I (CFB ^a)	%	5	80	10	10
Variasi II (CFB ^b)	%	5	80	15	5
Variasi III (CFB ^c)	%	5	70	10	15
Variasi IV (CFB ^d)	%	5	70	15	10
Variasi V (CFB ^e)	%	5	60	20	20
Variasi VI (CFB ^f)	%	5	60	25	15

Variasi sampel yang diuji terdiri dari 5% lempung dan 95% CFB, dimana CFB merupakan campuran antara tanah lempung, Abu terbang, dan Abu dasar dengan perbandingan seperti terlihat dalam Tabel 1 di atas. Sebagai contoh, variasi I merupakan sampel uji yang berupa campuran kapur sebanyak 5% dan campuran tanah (CFB^a) sebanyak 95% dimana komposisi CFB terdiri dari 80% lempung, 10% abu terbang, dan 10% abu dasar.

2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu, studi literature, survei lokasi, persiapan alat pengujian, penyiapan benda uji dan pengujian di laboratorium serta yang terakhir menganalisa hasil pengujian. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain pengujian karakteristik fisik dan mekanik. Pengujian karakteristik fisik yaitu uji batas-batas konsistensi tanah, sedangkan pengujian karakteristik mekanik meliputi uji proctor standard dan uji Kuat Tekan Bebas. Pengujian batas-batas konsistensi dilakukan terhadap tanah asli, lempung + kapur, lempung + abu terbang, lempung + abu dasar dan variasi tanah campuran. pengujian proctor dilakukan hanya pada tanah asli dan didapatkan kadar air optimum (*OMC*) yang akan digunakan dalam pembuatan sampel Kuat Tekan Bebas. Sedangkan untuk pengujian Kuat Tekan Bebas hanya dilakukan pada tanah asli dan variasi tanah campuran.

Pembuatan benda uji Kuat Tekan Bebas dilakukan setelah mendapatkan kadar air optimum (*optimum moisture content*) dari pengujian pemadatan proctor standar pada tanah lempung asli. Pengujian Kuat Tekan Bebas dilakukan dengan beberapa perlakuan yaitu kondisi tanpa rendaman, rendaman, pemeraman dan tanpa pemeraman. Tahapan pertama sebelum pengujian Kuat Tekan Bebas ini terlebih dahulu yaitu setelah benda uji dipadatkan dan dikeluarkan dari mould, benda uji diberi perlakuan pemeraman dan tanpa rendaman, kemudian setelah diperam ataupun tanpa diperam, benda uji diberi perlakuan direndam selama 4 hari dan juga tidak direndam. Perlakuan pemeraman tersebut dilakukan selama 7 hari dan 28 hari. Pembuatan benda uji Kuat Tekan Bebas pada penelitian ini berjumlah 3 buah di setiap masing-masing variasi dan perlakuan.

2.4. Metoda Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini guna untuk memperoleh data-data mengenai sifat-sifat fisis dan mekanik benda uji seperti uji berat jenis, batas-batas konsistensi tanah, pemadatan dan uji Kuat Tekan Bebas (Bowles, 1979; Budhu, 2011).

Pengujian berat jenis tanah ini mengacu pada standar ASTM dan SNI (ASTM D-442, 2010; SNI-1964, 2008), tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis tanah lempung. Benda uji yang digunakan merupakan tanah lempung ukuran butir yang lolos ayakan No.40.

Pengujian batas-batas konsistensi diantaranya yaitu pengujian batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas. Pengujian ini mengacu pada ASTM D4318-10 dan SNI (SNI-1966, 2008; SNI-1967, 2008) Tujuan dari pengujian batas cair pada penelitian ini yaitu untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada keadaan peralihan antara keadaan cair dan keadaan plastis, sedangkan pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air minimum suatu jenis tanah pada keadaan peralihan antara keadaan plastis dan keadaan semi padat. Benda uji merupakan tanah lempung dan tanah campuran bahan tambah dengan ukuran butiran lolos ayakan No.40.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

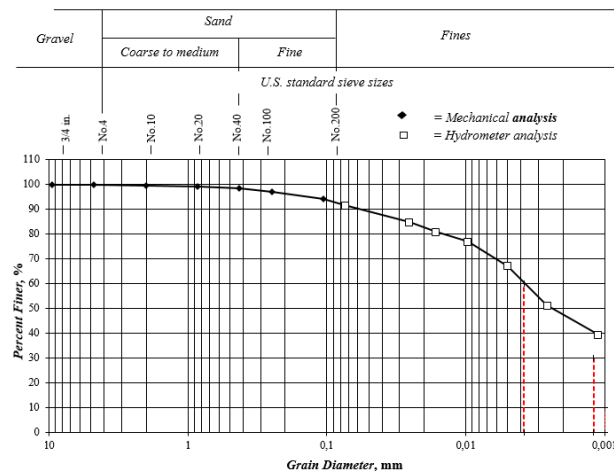
3.1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Gradasi Butiran Tanah Asli

Tanah lempung yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pengujian berat jenis dan gradasi tanah. Hasil pengujian berat jenis dan gradasi tanah lempung asli dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Gradasi Tanah Asli

No.	Pemeriksaan	Nilai	Satuan
1.	Berat Jenis (Gs)	2,674	%
2.	Butir Tertahan Saringan No.200	3,26	%
3.	Butir Lolos Saringan No.200	96,74	%
4.	Kerikil	0,00	%
5.	Pasir	3,26	%
6.	Lanau	19,84	%
7.	Lempung	76,90	%

Berdasarkan data yang diperoleh, maka diketahui bahwa berat jenis tanah lempung yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 2,674. Kemudian untuk hasil gradasi butiran pada tanah lempung asli diplot kedalam grafik *Grain Size Analysis* (ASTM D-854, 2007; SNI-3423, 2008) seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Tabel 3. Hasil Pengujian Analisa Saringan

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	D ₁₀	0,001	mm
2.	D ₃₀	0,001	mm
3.	D ₆₀	0,0038	mm
4.	C _u	3,80	-
5.	C _c	0,38	-

Berdasarkan penjelasan pada teori sebelumnya bahwa nilai C_u dan C_c pada tanah asli yang didapatkan dari hasil pengujian termasuk kedalam tanah yang bergradasi buruk, dimana nilai tersebut tidak termasuk ke dalam rentang untuk tanah bergradasi baik.

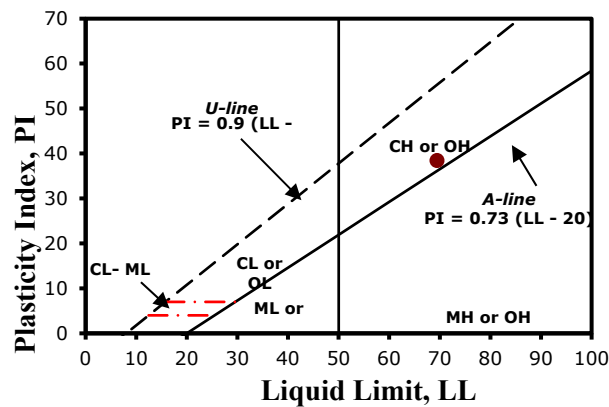
3.2. Hasil Pengujian Atterberg Limit Tanah Asli dan Tanah Campuran

Hasil pemeriksaan batas-batas konsistensi pada tanah asli dan variasi campuran dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Atterberg Limit

No.	Deskripsi Tanah	Atterberg Limits		
		LL (%)	PL (%)	PI (%)
1.	100% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>)	69,50	31,12	38,38
2.	90% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>) + 10% Abu terbang	50,73	32,17	18,56
3.	85% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>) + 15% Abu terbang	49,29	33,01	16,28
4.	80% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>) + 20% Abu terbang	48,97	34,26	14,71
5.	90% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>) + 10% Abu dasar	51,14	32,82	18,32
6.	90% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>) + 20% Abu dasar	50,27	33,14	17,12
7.	95% Tanah Lempung (<i>Lempung</i>) + 5% Kapur	60,97	39,51	21,46
8.	Variasi I (95% CFB ^a +5% Kapur)	58,27	39,72	18,55
9.	Variasi II (95% CFB ^b +5% Kapur)	62,74	43,04	19,69
10.	Variasi III (95% CFB ^c +5% Kapur)	58,06	38,93	19,13
11.	Variasi IV (95% CFB ^d +5% Kapur)	56,84	40,02	16,82
12.	Variasi V (95% CFB ^e +5% Kapur)	51,17	37,69	13,48
13.	Variasi VI (95% CFB ^f +5% Kapur)	55,97	39,87	16,10

Berdasarkan **Tabel 4** Hasil dari pengujian *Atterberg Limit* dimana pada tanah lempung asli nilai *liquid limit* yaitu 69,50% dan nilai *plastic index* yaitu sebesar 38,38%, kemudian nilai yang diperoleh diplot kedalam grafik plastisitas *Cassagrande*, maka didapat titik dari hasil pengujian terletak diatas "*A Line*" sehingga berdasarkan klasifikasi USCS, klasifikasi tanah termasuk pada kelompok CH (lempung berplastisitas tinggi) dan kelompok A-7 klasifikasi secara AASHTO. Berikut grafik plastisitas *Cassagrande* pada **Gambar 2**.

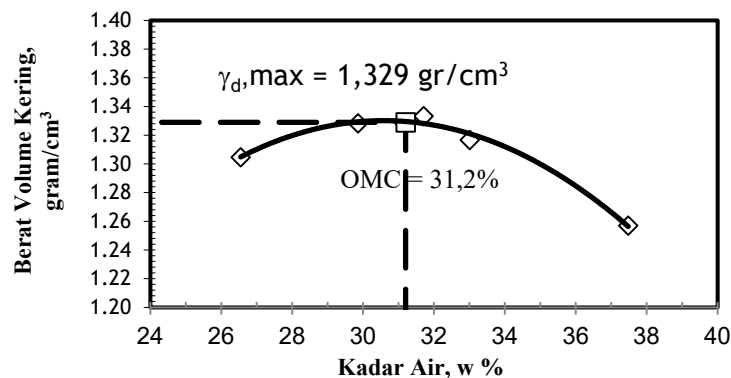


Gambar 2. Grafik Plastisitas Cassagrande Tanah Lempung Asli

Berdasarkan data hasil pemeriksaan pada **Tabel 4**, maka dapat disimpulkan bahwa dengan mencampurkan tanah lempung dengan bahan tambah kapur, abu terbang dan abu dasar cenderung menurunkan batas cair dan meningkatkan nilai batas plastis sehingga mengakibatkan nilai indeks plastisitas menurun.

3.3. Hasil Pengujian Pemadatan

Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah lempung asli sesuai standar dari ASTM D 698-07 dan SNI (SNI-1742, 2008) dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Kurva Hasil Pemadatan Tanah Asli

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan standar pada Gambar 4.3, maka didapatkan nilai kadar air optimum (*OMC*) sebesar 31,2 %, berat volume kering maksimum sebesar 1,329 gr/cm³ atau kepadatan kering maksimum (*MDD*) sebesar 13,03 kN/m³. Kadar air optimum tersebut digunakan untuk pencampuran pada tanah dan bahan tambah lainnya pada pengujian Kuat Tekan Bebas.

3.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian Kuat Tekan Bebas (SNI-3638, 2012) dilakukan pada 4 (empat) kondisi yaitu tanpa pemeraman dan tanpa perendaman; tanpa pemeraman dan dengan perendaman; pemeraman dan tanpa perendaman; pemeraman dan perendaman. Pemeraman dilakukan selama 7 hari dan 28 hari, sementara perendaman dilakukan selama 4 hari. Adapun hasil pengujian Kuat Tekan Bebas setiap perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Masing-Masing Variasi Campuran pada Setiap Perlakuan

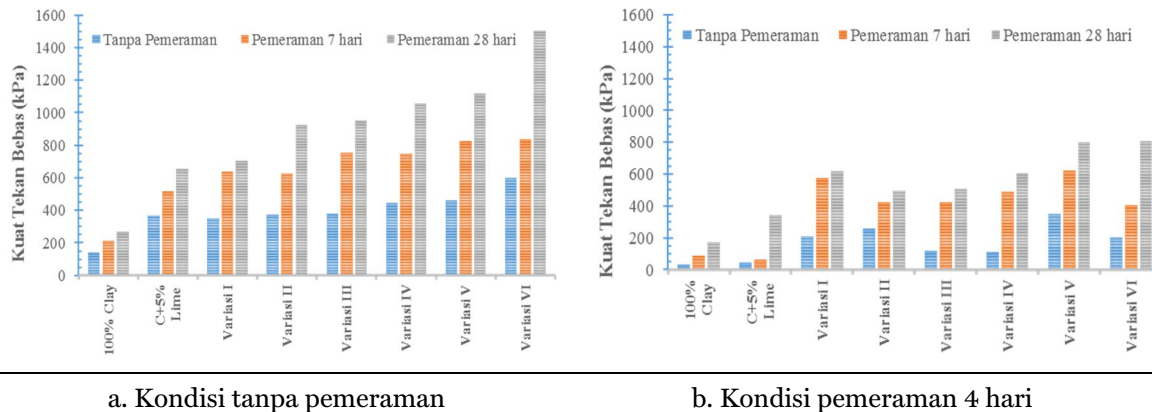
No.	Deskripsi Campuran	Tanpa perendaman			Perendaman 4 hari		
		Pemeraman			Pemeraman		
		0 hari (kPa)	7 hari (kPa)	28 hari (kPa)	0 hari (kPa)	7 hari (kPa)	28 hari (kPa)
1	100% <i>Lempung</i>	141,165	212,547	268,892	34,435	86,476	175,948
2	95% <i>Lempung</i> + 5% Kapur	366,963	514,390	656,908	48,220	343,175	62,405
3	95% (<i>Lempung</i> +20% abu terbang)+5% kapur		562,315		121,560		
4	95% (<i>Lempung</i> +20% abu dasar)+5% kapur		620,355		189,595		
5	95% CFB ^a + 5% kapur	353,977	640,010	705,585	210,681	573,800	615,616
6	95% CFB ^b + 5% kapur	375,811	629,216	925,388	256,165	423,848	494,413
7	95% CFB ^c + 5% kapur	380,743	756,832	952,900	120,442	509,425	423,569
8	95% CFB ^d + 5% kapur	447,752	749,955	1.058,609	113,547	603,815	491,408
9	95% CFB ^e + 5% kapur	459,059	825,736	1.120,875	347,690	622,425	803,952
10	95% CFB ^f + 5% kapur	601,730	838,945	1.506,158	202,481	407,103	805,910

Pada tanah lempung asli yang dipadatkan pada kondisi kadar air optimum, nilai Kuat Tekan Bebas tanpa pemeraman adalah 141,165 kPa. Jangka waktu pemeraman mengakibatkan kadar air menurun sehingga lempung mengeras. Semakin lama waktu pemeraman, kandungan air yang hilang akan semakin tinggi dan tingkat kekerasan juga meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan Nilai Kuat tekan Bebas yang meningkat berturut-turut menjadi 212,54 kPa dan 268,89 kPa untuk pemeraman selama 7 hari dan 28 hari. Perendaman membuat lempung mengembang dan mengurangi kekuatan tanah, sehingga Kuat Tekan bebas sampel dengan perendaman lebih kecil daripada tanpa perendaman. Derajat pengembangan tergantung kepadatan dan waktu. Semakin padat tanah, semakin lama untuk mengembang sehingga derajat pengembangannya lebih kecil. Tanah yang diperam lebih lama, tingkat pengembangan lebih kecil sehingga kuat tekan akan lebih tinggi (lihat **Tabel 5**)

Dari **Tabel 5** dapat dilihat juga bahwa penambahan kapur sebesar 5%, baik pada lempung asli, lempung dicampur abu terbang atau abu dasar, dan lempung dicampur abu terbang dan abu dasar terbukti meningkatkan Kuat Tekan bebas. Peningkatan kuat tekan berbanding lurus dengan waktu pemeraman. Ini disebabkan dibutuhkan waktu untuk kapur bereaksi dengan lempung membentuk ikatan sempurna, semakin lama pemeraman akan semakin kokoh ikatan yang terbentuk sehingga kekuatan meningkat. Peningkatan nilai Kuat Tekan Bebas dikarenakan dalam proses stabilisasi yang menggunakan bahan kimia, akan terjadi proses hidrasi yang mampu mengikat partikel-partikelnya menjadi partikel lebih besar. Proses hidrasi memerlukan waktu, sehingga dengan semakin lamanya waktu pemeraman proses hidrasi berlangsung dengan sempurna.

Perbandingan nilai kuat tekan bebas dari lempung asli; campuran lempung dengan abu terbang; campuran lempung dengan abu dasar; campuran lempung dengan abu terbang dan abu dasar; yang diberi kapur 5% menunjukkan bahwa substitusi material lempung dengan abu terbang atau/dan abu dasar terbukti meningkatkan kekuatan tanah. Kondisi tanpa perendaman dengan pemeraman selama 7 hari misalnya menghasilkan nilai kuat tekan bebas sebesar 562 kPa, 620 kPa, 640 kPa berturut-turut untuk penggantian sebesar 20%

lempung dengan abu terbang, abu dasar, abu terbang dan abu dasar. Sisi lain, untuk sampel yang direndam tanpa pemeraman hasil kuat tekan bebas berturut-turut sebesar 121 kPa, 189 kPa, dan 210 kPa untuk abu terbang, abu dasar, dan abu terbang dan abu dasar. Jadi, abu batubara bisa dipakai untuk material pengganti lempung yang terbukti menurunkan kembang susut lempung dan meningkatkan kekuatan lempung.



Gambar 4. Pengaruh dan komposisi abu dasar dan abu terbang

Penggunaan abu dasar sebagai bahan pengganti tambah lempung sebesar 20% terbukti lebih baik daripada abu terbang baik pada kondisi pemeraman atau perendaman. Penggunaan bersama-sama abu dasar dan abu terbang dengan kadar total 20% juga lebih baik dari hanya menggunakan salah satu dari abu batubara. Pengaruh penambahan abu batubara dan komposisi abu dasar dan abu terbang disajaikab pada **Gambar 4**.

Kadar batubara sebesar 20%, 25%, dan 40% terdapat berturut turut pada sampel Variasi I-II, Variasi III-IV, dan Variasi V-VI. Kandungan batubara yang tinggi dalam campuran akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi pula, baik pada kondisi rendaman atau tanpa rendaman. Penambahan waktu pemeraman juga berguna untuk meningkatkan kekuatan tanah. Komposisi abu terbang dan abu dasar juga mempengaruhi peningkatan nilai kuat tekan bebas.

Jika dilihat berdasarkan nilai Kuat Tekan Bebas, pada perlakuan *non perendaman* dan *perendaman* sampai pada kondisi *pemeraman 28 hari*, nilai Kuat Tekan Bebas tertinggi terjadi pada kondisi *pemeraman 28 hari*. Sedangkan pada variasi III dan variasi IV kondisi perendaman setelah *pemeraman 28 hari*, nilai Kuat Tekan Bebas mengalami penurunan dibandingkan *pemeraman 7 hari*, ini disebabkan karena kondisi sampel setelah diperam selama 28 hari kemudian direndam keadaan sampel rusak dengan kondisi retak-retak pada saat dikeluarkan. Sehingga pada saat di uji nilai Kuat Tekan Bebas yang didapatkan lebih rendah.

4. KESIMPULAN

Pada lempung plastisitas tinggi dengan simbol CH pada klasifikasi USCS dan A-7 pada klasifikasi AASHTO, penambahan abu batubara akan menurunkan plastisitas dan meningkatkan kekuatan tanah

Penambahan kapur sebesar 5% sebagai bahan aditif lempung meningkatkan kuat tekan bebas lempung lebih dari 50%. Penambahan abu batubara dalam lempung yang distabilisasi

kapur membuat peningkatan kuat tekan bebas semakin tinggi. Semakin bertambahnya persentase abu batubara, maka nilai kuat tekan bebas yang didapatkan semakin meningkat. Peningkatan nilai kuat tekan bebas terbesar terjadi pada variasi VI yaitu sebesar 1506,158 kPa dimana persentase bahan tambah yang digunakan yaitu 40% abu batubara dalam campuran dengan lempung.

Perlakuan pada sampel yaitu pemeraman dan perendaman mempengaruhi Kuat Tekan Bebas, dimana pemeraman meningkatkan kekuatan tanah karena memberikan waktu pada kapur untuk bereaksi membuat ikatan yang kuat dengan butiran lempung. Perendaman menurunkan kekuatan tanah karena masuknya air dalam tanah sehingga mengakibatkan tanah mengembang yang membuat kekuatan tanah berkurang.

Komposisi abu terbang dan abu dasar sangat berpengaruh pada peningkatan kekuatan tanah. Sifat kimiawi dan kandungan senyawa hampir sama antara abu terbang dengan abu dasar. Tetapi penggunaan abu batubara dengan kandungan abu dasar lebih banyak lebih optimal meningkatkan kekuatan tanah karena juga memperbaiki gradasi lempung. Pada kondisi perendaman menggunakan abu terbang berlebihan bisa mengakibatkan larutnya Abu Terbang sehingga menyebabkan kerusakan dan nilai Kuat Tekan Bebas menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Anak Geliga, E., & Awg Ismail, D. S. (2010). Geotechnical Properties of Fly Ash and its Application on Soft Soil Stabilization. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 1(2), 1-6. <https://doi.org/10.33736/jcest.73.2010>
- Apriyanti, Y., & Hambali, R. (2014). *Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar*. 2, 151-162.
- ASTM D-442. (2010). Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils. In *ASTM Standards*. ASTM International.
- Bhurtel, A., & Eisazadeh, A. (2019). Strength and Durability of Bottom Ash and Lime Stabilized Bangkok Clay. *KSCE Journal of Civil Engineering*, L. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-0850-3>
- Bowles, J. E. (1979). Physical and geotechnical properties of soils. In *Physical and geotechnical properties of soils*.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (M. Budhu (ed.); 12th ed.). John Wiley & Sons.
- Budi, G. S., Cristanto, A., & Setiawan, E. (2003). Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Civil Engineering Dimension*, 5(1), 20-24.
- Chen, F. H. (2012). *Foundation on Expansive Soils: Developments in Geotechnical Engineering* (12th ed.). Elsevier Ltd.
- Darmawan, W., Rachmansyah, A., & Zaika, Y. (2018). Perubahan Stabilitas Tanah Akibat Penambahan Kapur, Semen, dan Fly Ash pada Tanah Lunak Proyek Tol Gempol-Pasuruan. *JOM Jurusan Teknik Sipil UB*, 1(2), 993-1004.
- Davidson, D. T. (1962). Soil Stabilization ' With Lime Fly Ash Iowa Engineering Experiment Station . *Iowa State University Bulletin*, 26.
- Devi, C. R., Surendhar, S., Kumar, P. V., & Sivaraja, M. (2018). *Bottom Ash as an Additive Material for Stabilization of Expansive Soil*. 4(2), 174-180.
- Dissanayake, T. B. C. H., Senanayake, S. M. C. U., & Nasvi, M. C. M. (2017). Comparison of the Stabilization Behavior of Fly Ash and Bottom Ash Treated Expansive Soil. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 50(1), 11. <https://doi.org/10.4038/engineer.v50i1.7240>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan. In *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Universitas Gajah Mada.
- Hariato, T., Tamayanti, F. A., & Maricar, M. I. (2017). *Studi Karakteristik Mekanis Tanah Menggunakan Fly Ash Sebagai Bahan Stabilisasi*.
- Alaska Soil Stabilization Guide, AK 99709-5399 (2002).
- Huri, A. D., Yulianto, K., R W, S. P., & Hardiyati, S. (1989). *Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam*. 1-8.

- Ikeagwuani, C. C., & Nwonu, D. C. (2019). Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2), 423–440. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.013>
- Kulkarni, T. A., Padalkar, P. A., & Joshi, C. G. (2017). *Stabilization of Soil By Using Fly Ash & Lime*. 32, 32–38.
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Rahman, T. (2013). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Fly Ash Terhadap Nilai CBR. *Jurnal Fondasi*, 2(2), 51–60.
- Le, T. M., Dang, L. C., & Khabbaz, H. (2019). Strength Characteristics of Lime and Bottom Ash Reinforced Expansive Soils. *Geo-Congress 2019 GSP 309*, 352–362.
- Mohanty, M. K. (2015). *Stabilization of Expansive Soil Using Fly Ash* (Issue May).
- Pinasang, D. B. (2016). *Analisis Campuran Kapur-Fly Ash dan Kapur-Abu Sekam Padi Terhadap Lempung Ekspansif*. 6(3), 535–546.
- Purnama, Y. (2018). *Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Lakarsantri Surabaya terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal*. 1–9.
- SNI-1742. (2008). *Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI-1964. (2008). *Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI-1966. (2008). *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI-1967. (2008). *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI-3423. (2008). *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI-3638. (2012). *Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Suhardjito. (1989). *Teknik Pondasi* (L. Geoteknik (ed.); 1st ed.). Pusat Antar Universitas (PAU) Institut Teknologi Bandung.
- Supriyono. (1997). *Perilaku Kembang dan Susut Lempung Ekspansif*.
- Wardani, S. P. R. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Pidato Pengukuhan Guru Besar*, 1–71.