

Pemanfaatan Geopolimer Abu Terbang Sebagai Pozzolanic Tanah Lempung Untuk Material Tanah Dasar Perkerasan

Soewignjo A., Nugroho^{1,*}, Puspa, Ningrum², Muhardi

¹Program Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau, H R Subarantas KM 12 Pekanbaru

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Abdurrab

*Corresponding author: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

ABSTRAK

California Bearing Ratio (CBR) merupakan satu pengujian standar untuk menentukan kapasitas dukung tanah. Pemanfaatan sisa pembakaran batubara industri untuk dijadikan material struktur perkuatan jalan masih sedikit dilakukan. Tujuan dari kajian berikut adalah mengkaji perubahan daya dukung dari pengujian CBR laboratorium karena penambahan *fly ash* (abu terbang) dalam tanah lempung pada beberapa kondisi dengan atau tanpa pemeraman (*curing*) dan perendaman (*soaked*). Pemeraman selama 28 hari dilakukan dalam dua kondisi yaitu dalam cetakan (*mould*) dan dibungkus plastik tanpa mould. Melihat hasil pengujian CBR, Indeks plastisitas, kepadatan dan Spesifik Gravity (*Gs*) tanah menurun. Penambahan Abu terbang meningkatkan nilai kadar air optimum (*OMC*). Nilai CBR meningkat akibat penambahan abu terbang, peningkatan tertinggi terjadi pada penambahan abu terbang sebesar 15%. Perbedaan metode pemeraman menghasilkan nilai CBR berbeda, dimana pada pemeraman di dalam *mould* menghasilkan nilai CBR lebih tinggi daripada menggunakan plastik. Pada pengujian CBR sampel rendaman, nilai CBR bervariasi karena sifat abu terbang dan lempung dalam menyerap air. Daya serap air berbeda bergantung prosentase campuran lempung dan *fly ash*. Penambahan air karena daya serap air tanah mendekati nilai *OMC* tanah asli, maka nilai CBR semakin besar. Penambahan abu terbang sampai kadar 30% meningkatkan nilai CBR tanah lempung.

Kata kunci: Abu Terbang; California Bearing Ratio; Lempung; Perkerasan; Stabilisasi

ABSTRACT

California Bearing Ratio (CBR) is one of a method for determining soil bearing capacity. Extraction of industrial disposal to be used as material for road pavement construction is still lacking. This research aims to determine changing CBR values due to the fly ash addition in clay under conditions with or without curing and soaked. Samples curing for 28 days were done in two conditions firstly, curing in mold and wrapped with plastic. Secondly, wrapped with plastic off mold. Looking at the CBR test results, plasticity index, density and specific gravity (*Gs*) is decreased. The addition of fly ash rises the value of the optimum water content (*OMC*). CBR value increased due to the addition of fly ash, a significantly increase occurred in the fly ash addition by 15%. Different curing method different CBR values, where curing using mould has a high CBR value. In soaked CBR test, the CBR value varies due to the characteristics of the fly ash and clay which absorbed water. Water absorption varies depend on the percentage of the mixture of fly ash content and clay. The width variance of moisture content with *OMC*, because water absorption, affect to value of CBR. Samples with moisture content is more close to *OMC* the CBR value is more bigger.

Keywords: Clay; California Bearing Ratio; Fly Ash; Pavement; Stabilization

1 PENDAHULUAN

Konstruksi sipil baik jalan, gedung, maupun struktur lainnya apabila didukung oleh tanah dasar yang baik, akan dapat bertahan lama [1]. Pekerjaan perkerasan jalan, trace jalan sering harus melalui lapisan tanah dasar yang jelek atau material agregat (*embankment*) di sekitar lokasi konstruksi tidak memenuhi syarat Bina Marga apabila digunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan. Salah satu jenis tanah lunak berupa tanah lempung plastisitas tinggi yang memiliki kekuatan daya dukung yang rendah. Nugroho dkk. dari penelitiannya mendapatkan fakta bahwa pengujian CBR terendam maupun CBR tidak terendam mencapai nilai maksimal pada campuran pasir dan lempung di saat kandungan material lempung sebesar 30% [2].

Fly ash dan *bottom ash* (faba), sebagai hasil pembakaran batu bara industri maju (PLTU, Pulp) semakin banyak karena sedikit dimanfaatkan. Pemanfaatan faba oleh industri harus dilengkapi berbagai dokumen seperti ijin lingkungan, sumber /karakteristik /jumlah faba, tempat penampungan, dan hasil pemanfaatan faba sesuai prosedur Kementerian (KLHK). Prosedur ijin pemanfaatan faba sangat ketat mengingat, berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101/2014 yang memasukan faba sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Pemanfaatan faba sebagai material konstruksi seperti paving block, genteng, batako, dan material timbunan jalan akan semakin berkembang di masa depan apabila faba dijadikan material non B3.

Penambahan abu terbang efektif dengan persentase 15% atau lebih yang diperam (*curing*) dalam rentang 7-14 hari, nilai CBR akan meningkat dan plastisitas berkurang. Sebaliknya, penambahan abu terbang dengan persentase kurang dari 15% malah menurunkan nilai CBR [3]

Standar Nasional Indonesia (SNI-2460-14), yang banyak mengacu persyaratan bina Marga menjelaskan bahwa penambahan abu terbang sebesar 5%-20% pada tanah lempung dapat

meningkatkan kuat dukung, batas plastis, dan OMC (kadar air optimum) serta menurunkan MDD (kepadatan kering maksimum) [4]. Abu terbang apabila dicampur dengan tanah lempung sifatnya, cenderung menurunkan *Specific Gravity*, memperkecil nilai batas cair, menaikkan kepadatan kering maksimum dan menurunkan kadar air optimum selain itu daya dukung tanah mengalami peningkatan sebanding dengan penambahan kandungan abu terbang [5]

Penelitian yang digagas Nugroho dkk. tahun 2016 terhadap lempung yang berasal dari Perawang kabupaten Siak, berdasarkan pengujian analisa saringan mengandung ukuran butiran mikroskopis yang lewat saringan No.200 (ukuran butiran lebih kecil dari 0,075 mm) yakni sebesar 95,04% [4]. Abu terbang dari PT. Indah Kiat *Kertas dan Pulp* (PT IKPP) Perawang, sebagian merupakan pembakaran dari sisa-sisa chip dan cangkang kelapa sawit, dimana mempunyai tingkat keasaman 10 sampai 13. Kasat mata, terlihat abu terbang ini mempunyai butiran halus, sangat enteng, dan warnanya lebih terang daripada tanah

2 TINJAUAN PUSTAKA

Fase Tanah terdiri atas 3 (tiga) bagian, yaitu: bagian padatan (*solid*) tanah berupa butiran, air (*water*), dan rongga udara (*void*). Udara secara teknis diasumsikan tidak mempunyai berat dan pengaruh, sementara sifat-sifat teknis tanah sangat dipengaruhi oleh air. Rongga-rongga yang memisahkan antara butiran-butiran padat, dapat terisi oleh air dan udara, atau diisi air atau udara sepenuhnya. Tanah mengalami keadaan *saturated* apabila pori-porinya tersebut berisi air seluruhnya. Apabila pori-pori diisi air serta udara, tanah berada dalam keadaan *partially saturated (unsaturated)*. Tanah yang dalam ruang pori tidak ada air sama sekali (kandungan air nol) atau dalam kondisi kering disebut tanah kering [6].

Struktur tanah terdiri dari susunan berbentuk geometris dari butiran-butiran tanah. Bentuk, ukuran dan komposisi mineral dari butiran-butiran tanah serta sifat kimiawi komposisi dari tanah merupakan

faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah. [7]

Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*) seperti kerikil atau pasir terdiri dari butiran-butiran tunggal tanah yang terpisah-pisah dan hanya melekat satu sama lain apabila berada dalam kondisi basah. Struktur bentuk *single-grained* dan struktur *honey-combed* merupakan bentuk umum daripada struktur tanah berbutir kasar. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) seperti lempung dan lanau terdiri dari butiran-butiran yang saling menyatu antar butiran tanahnya, pada kondisi kering untuk memisahkan antar butir-butir tanah diperlukan suatu gaya. Tanah berbutir halus bisa mempunyai sifat non kohesif (tidak plastis), kohesif (plastis), serta bisa bersifat seperti cairan bergantung kandungan air dalam tanah tersebut. [8]

Tanah berlempung (*clayey soils*) merupakan tanah yang sebagian besar diameter butiran padat berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis. Tanah lempung sangat keras dalam kondisi kering dan bersifat plastis pada kandungan air medium. Saat kandungan air tinggi dan lebih tinggi lagi, lempung mempunyai sifat lengket (*cohesif*) dan sangat lunak (Das, 1985).

Karakteristik Fly Ash

Karakteristik kimia *fly ash* sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penanganannya. Jenis batubara yang dibakar antara lain aspal (*bituminous*), *anthracite*, *subbituminous*, dan *lignite*. Komposisi kimia *fly ash* hampir relatif sama, namun yang membedakannya adalah banyaknya kandungan masing-masing unsur pembentuknya seperti mineral silika (SiO_2), mineral alumina (Al_2O_3), bijih besi (Fe_2O_3), *calcium oxide* (CaO), serta juga mengandung unsur tambahan seperti *magnesium oksida* (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon yang terdapat didalamnya. Komposisi kimia *fly ash* dari PT. RAPP Pangkalan Kerinci ditampilkan sebagai rangkuman pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1 Komposisi Kimiawi Abu Terbang PT. RAPP Pangkalan Kerinci

Senyawa/Mineral	Unit	Hasil Analisa
Silika dioxide (SiO_2)	%	45.58
Alumina (Al_2O_3)	%	2.08
Ferri oxide (Fe_2O_3)	%	1.17
Calcium oxide (CaO)	%	1.74
Lain-lain	%	45.45
hilang terbakar (LOI)	%	3.98

Sumber (Analisa, 2019)

Karakteristik fisik dari abu terbang umumnya tergantung dari sumber pengambilan batubara, efisiensi proses penggilingan pada tempat pengolahan dan umur pembentukan batubara. Fly Ash yang diambil dari PT. RAPP Pangkalan Kerinci mempunyai kandungan air $<1.00\%$, gravitas khusus (Gs) 2.62, kadar air optimum sebesar 38.11%, MDD 9.51 kN/m^3 . Analisis saringan metode mekanis dan Hidrometer (*grain size analysis*) memperoleh bagian padat berukuran pasir 19.94%, kandungan silt (lanau) 6.02%, butiran ukuran mikroskopis sebanyak 74.04%. Pengujian Casagrande memperoleh kandungan air pada Batas Cair sebesar 40.00% [9]. Abu terbang dibedakan menjadi kelas C, kelas F, dan kelas N [10]. Abu terbang kelas C mengandung kadar mineral silika, alumina, dan bijih besi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 50%. Calcium oksida (CaO) $>10\%$, kadar carbon $\pm 60\%$, bersifat *pozzolanic* dan sifat *self-hardening*, juga mengandung kalsium dalam kadar yang tinggi. Abu terbang kelas F mengandung $\text{CaO} \leq 10\%$, hasil pembakaran *anthracite*, kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) $> 70\%$. Abu terbang ini dapat tidak mengikat sendiri sehingga harus diberi penambahan kapur dan semen. Abu terbang kelas N yang merupakan *pozzolan* yang tidak mengalami proses kalsinasi (*raw pozzolan*) maupun melalui proses kalsinasi dari *pozzolan* alam, seperti tras, serpihan batuan, abu vulkanik, tanah diatomae, dan batu apung.

Abu terbang yang berasal dari PT. RAPP Pangkalan Kerinci mempunyai kandungan Calcium dioksida (CaO), yang dihasilkan

dari pembakaran bitumen batu bara sebesar 1,74 % ($\geq 10\%$). Berdasarkan klasifikasi ASTM C-618 termasuk kelas F. Gambar 1 dan Gambar 2 adalah tanah Lempung dari Perawang dan Fly Ash dari PT RAPP Perawang.



Gambar 1 Tanah Lempung Plastisitas Tinggi



Gambar 2 Fly Ash dari PT RAPP

CBR pertama kali diperkenalkan pada tahun 1928 oleh *California division of highways*. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 2.54 mm atau 5,08 mm (0.1/0.2 inch) dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1/0,2 inch. Jadi, angka CBR adalah angka yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan angka bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai angka CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) digunakan untuk mendapatkan angka CBR asli sesaat setelah dipadatkan di lapangan, sesuai dengan tanah dasar saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, selain itu jenis CBR ini

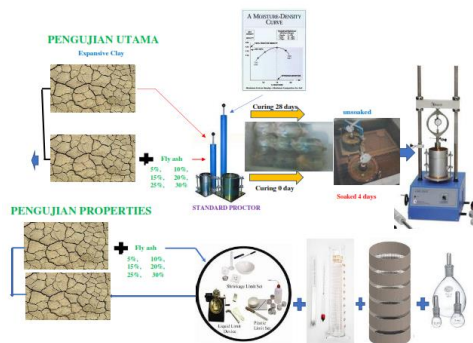
digunakan untuk mengontrol kepadatan yang diperoleh apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan. CBR rendaman (*soaked*) digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Nugroho dkk. telah menguji fly ash dari PT RAPP Pangkalan Kerinci, mendapatkan nilai CBR tanpa rendaman dengan pemeraman 0, 7, 28, 56 hari berturut turut sebesar 14.17%, 15.53%, 23.97%, dan 25.05%. Untuk nilai CBR rendaman sebesar 4.00% untuk curing 0 hari dan 3.57% untuk curing 7 hari [3]

3 METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi pengambilan tanah lempung adalah di Jalan Inpres, STA 11 +00 s.d STA 11 +500, Perawang, Kabupaten Siak. Sedangkan pengambilan abu terbang (*Fly Ash*) dari PT. Riau Andalan *Pulp and Paper* Tbk, Perawang, Kabupaten Siak.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau. Pengujian dibagi menjadi dua tahap yaitu pengujian Pendahuluan dan Pengujian Utama. Pelaksanaan pengujian di Laboratorium sesuai dengan standar pengujian, yaitu ASTM Penelitian pendahuluan meliputi uji indeks propertis tanah, sifat fisik tanah dan pengujian pemadatan. Pengujian propertis dan sifat fisik tanah di antaranya adalah pengujian kadar air (ASTM D-2216-99), analisa saringan (ASTM D-422), *specific gravity* (ASTM D-854-02), batas konsistensi tanah (ASTM D-4318-00). Pengujian pendahuluan bertujuan untuk klasifikasi tanah. Pemeriksaan kadar air optimum (OMC) dan berat volume kering maksimum (MDD), sesuai ASTM D-698-07 masing-masing variasi tanah campuran dilakukan dengan pengujian proktor standar. Pengujian Utama berupa pengujian CBR laboratorium (ASTM D-1883-16) pada semua variasi tanah, baik kondisi rendaman (*soaked*) atau tidak rendaman (*unsoaked*). Kadar air pada pembuatan benda uji CBR merupakan nilai OMC masing masing

variasi campuran. Pengujian CBR rendaman dan tanpa rendaman pada masing-masing campuran tanah pada kondisi tanpa pemeraman ataupun dengan pemeraman 28 hari. Untuk sampel CBR dengan curing, perendaman di lakukan setelah sampel selesai diperam. Perendaman dilakukan dengan pembacaan nilai swelling. Perendaman selesai setelah tidak terjadi swelling, di catat juga kadar air setelah perendaman. Jalannya penelitian di ilustrasikan pada Gambar 3



Gambar 3. Graphical metodologi penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data penelitian, diperoleh berurutan dari serangkaian pengujian sampel yang dilaksanakan di laboratorium, kemudian data hasil pemeriksaan disajikan secara jelas, sistematis dan berjenjang guna dilakukan analisis hubungan antar parameter. Data-data yang didapat berupa index propertis tanah dan sifat fisik tanah, *Standard Proctor*, dan nilai CBR.

Hasil analisis pemeriksaan gravitas khusus, indek plastisitas dari fly ash (FA), tanah lempung, dan variasi campuran lempung (clay) dengan Fly Ash, ditampilkan dalam Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bahwa campuran lempung, menurut AASHTO, masuk dalam kelas A-4.

Tabel 2 Data Pengujian Index Propertis Tanah asli dan Campuran

Variasi Sampel	Gs	Plastisitas (%)			AASHTO
		LL	PL	IP	
Clay	2.67	31.7	20.6	11.2	A-6
Fly Ash	2.61	NA	NA	NA	A-4
10% FA	2.67	29.5	22.7	6.8	A-4
15% FA	2.66	29.2	22.9	6.4	A-4
20% FA	2.66	29.2	24.1	5.1	A-4
25% FA	2.67	29.1	24.6	4.5	A-4
30% FA	2.66	29.0	26.0	3.0	A-4

(sumber: hasil analisis)

Pengujian pemadatan *standard compaction test* yang digunakan untuk menentukan *Optimum Moisture Content (OMC)* dan *Maximum Dry Density (MDD)*. Kadar air optimum tersebut, masing-masing dijadikan sebagai kadar air yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji pada kepadatan maksimum sehingga didapatkan daya dukung maksimum. Dicoba juga dipadatkan pada sisi basah untuk melihat kemungkinan penurunan atau kenaikan daya dukung tanah. Berdasarkan hasil pengujian pemadatan, maka dapat ditentukan kadar air optimum, berat volume kering maksimum, dan nilai CBR dengan hasil yang disajikan pada Tabel 3.

Hasil Pengujian dikumpulkan dalam kelompok data-sheet yang nantinya dianalisis korelasinya, faktor-faktor apa yang berpengaruh. Data-data primer pemeriksaan gravitas khusus (Gs), Atterberg Limits, pengujian *standard Proctor*. Daya dukung CBR pada tiap prosentase campuran lempung dan fly ash serta perlakuan pemeraman dan atau perendaman dengan variasi kadar air yang telah ditentukan

Tabel 3 Hasil Pengujian Pemadatan dan CBR laboratorium

No	Samples Variation	Standard Proctor		Unsoaked CBR		Soaked CBR		
		MDD	OMC	density	CBR	w (%)	density	CBR
1	100% Clay (C)	16.71	17.98	16.70	22.06	22.31	16.70	10.37
2	100% Fly Ash (FA)	10.79	33.87	10.79	23.97	31.25	12.85	35.73
3	90% C + 10% FA	15.92	19.90	15.90	22.55	20.72	16.16	15.36
4	85% C + 15% FA	15.88	20.00	15.47	23.97	24.36	15.53	12.43

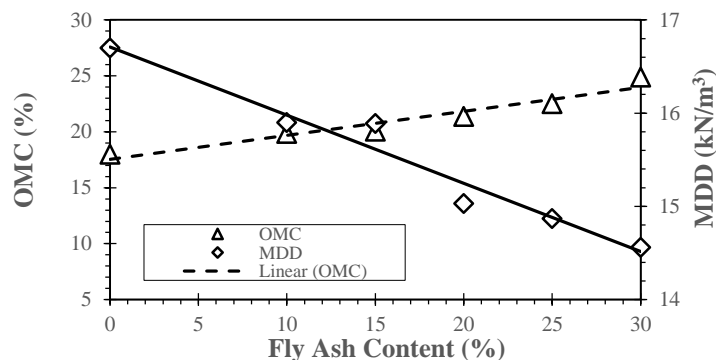
5	80% C + 20% FA	15.41	21.40	15.10	24.19	26.34	15.16	11.06
6	75% C + 25% FA	15.09	22.50	14.78	25.99	28.47	14.67	8.40
7	70% C + 30% FA	14.65	24.90	14.50	25.43	28.24	14.54	13.52

(sumber: hasil analisis)

Pengaruh Abu Terbang Terhadap Kepadatan Tanah

Nilai pemeriksaan kepadatan laboratorium (proktor standar) pada semua tanah yang ditambah abu terbang bervariasi ditampilkan pada Gambar 4, maka dapat diketahui pengaruh abu terbang terhadap kandungan air optimal (OMC) maupun berat kering tanah maksimal (MDD). Melihat **Gambar 4**, dengan bertambahnya berat abu terbang dalam tanah, semakin besar penambahan abu terbang maka kadar air optimum (OMC) meningkat serta kepadatan kering maksimum (MDD) akan menurun. Karakteristik peningkatan OMC dan karakteristik berkurangnya MDD menunjukkan kecenderungan membentuk garis linier.

Fly Ash mempunyai sifat *pozzolanic* karena ketika berlangsung proses sementasi, ukuran pori-pori pada tanah akan membesar. Pertambahan volume pori-pori karena proses cementation mengakibatkan terciptanya rongga-rongga baru tetapi dengan volume tanah yang tetap. Saat proses stabilisasi, rongga-rongga kosong itu terisi air. Setelah proses pengeringan selesai, air dalam rongga-rongga keluar dan sampel menjadi kering, hal tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan berat kering tanah. Oleh karena itu, semakin besar kandungan abu terbang maka semakin meningkat volume ruang pori tercipta, sehingga akan semakin menurun juga kepadatan kering sampel pengujian [11].



Gambar 4 Pengaruh Abu Terbang Terhadap Nilai OMC dan MD

Pengaruh Abu Terbang Terhadap CBR dan Kepadatan

Hubungan nilai daya dukung CBR dengan kandungan *fly ash* dan kepadatan tanah ditampilkan pada Gambar 5, dengan sampel dipadatkan pada kadar air optimum. Hasil CBR pada sampel yang diuji setelah direndam terlebih dahulu, peningkatan berat abu terbang tidak terlalu merubah daya dukung tanah tetapi sangat mengurangi besar angka kepadatan tanah. Nilai daya dukung CBR relatif konstan

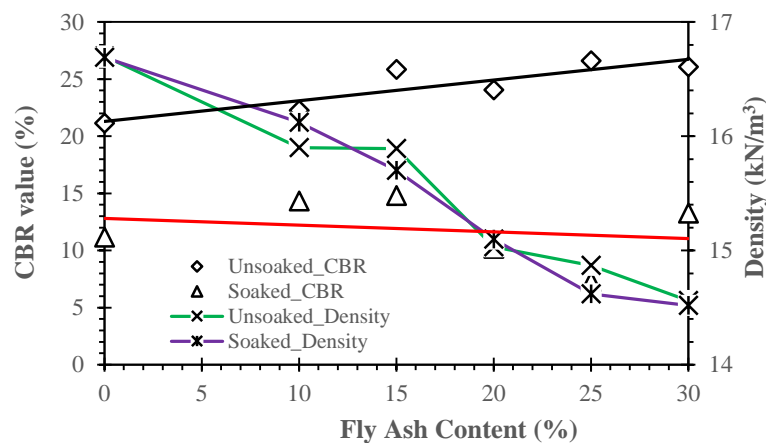
berkisar 10.50-15.50% sampai kandungan abu terbang 30.00%.

Dari Pengujian CBR (**Gambar 5**), apabila kandungan *fly ash* yang dicampurkan dengan tanah lempung kurang dari 15%, maka terjadi peningkatan daya dukung CBR yang lumayan tinggi. Namun ketika prosentase kandungan *fly ash* dalam rentang 15% - 20%, nilai daya dukung tidak terjadi kenaikan, tetapi malah menurun. *Cementation* mengakibatkan koagulasi yang akan memperbesar gaya adhesi didalam butiran, hasilnya kemampuan

interlocking (saling mengunci) antar butiran semakin besar. Disamping itu, ruang pori yang sudah ada sebagian akan dikelilingi bahan tersementasi yang lebih keras, sehingga butiran lebih susah terurai atau berubah bentuk karena pengaruh air. Oleh karena itu, seiring dengan penambahan prosentase abu terbang menunjukkan peningkatan daya dukung CBR non rendaman dan kecenderungan kenaikan daya dukung pada pengujian CBR rendaman meskipun kepadatan keringnya berkurang drastis. Untuk CBR rendaman pada **Gambar 5** menggambarkan efek penambahan berat abu terbang akan mengakibatkan berat volume kering tanah turun disebabkan proses *cementation* yang menciptakan rongga-rongga yang terisi air saat perendaman. Sementara nilai CBR rendaman relatif stabil pada nilai 14-16%

Daya dukung Tanah dari Nilai CBR *unsoaked*, CBR *soaked*

Hubungan antara nilai daya dukung tanah yang diperiksa dalam kondisi direndam maupun tanpa direndam dengan kandungan abu terbang berbeda-beda telah ditampilkan (Gambar 5) pada sampel dicetak dalam kondisi kandungan air pada nilai OMC sehingga mendapatkan kepadatan sampel maksimal. Gambar 5 menyimpulkan bahwa proses sementasi membuat kepadatan kering sampel menurun dengan semakin tingginya kandungan abu terbang dalam campuran. Penurunan *dry density* sangat tinggi pada pengujian CBR setelah direndam.



Gambar 5 Hubungan Kandungan Fly Ash dengan daya dukung CBR dan Density

Daya dukung Tanah pada Sisi Basah

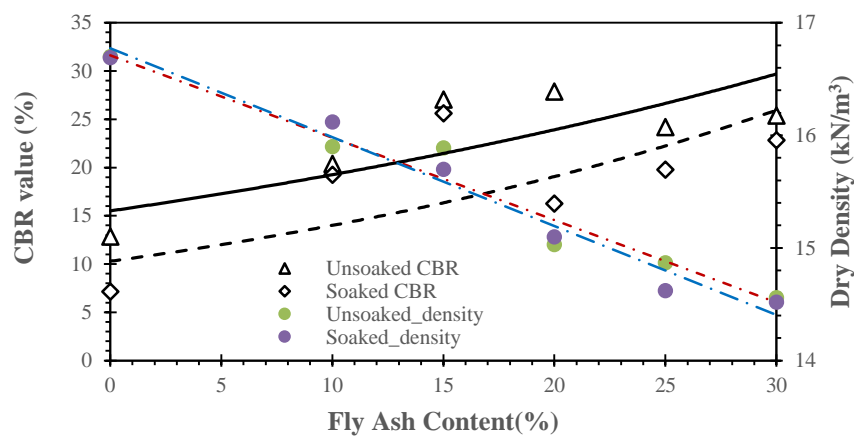
Hasil daya dukung CBR tanpa direndam dan CBR direndam untuk kandungan air pada sisi basah ditampilkan kembali pada Gambar 6. Merujuk Gambar 6, untuk semua kandungan abu terbang tampak bahwa angka daya dukung CBR tidak direndam lebih besar daripada angka daya dukung CBR direndam. Pada saat pemeraman selama 28 hari, terjadi proses sementasi akibat abu terbang yang mempunyai sifat pozzolan. Proses

sementasi akan menciptakan butiran menjadi lebih besar sehingga menambah rongga-rongga antar butiran. Di samping itu, sementasi juga membuat ikatan antar butiran semakin kuat. Selama proses perendaman akan meningkatkan kandungan air dalam tanah karena rongga rongga udara akan terisi oleh air. Tambahan air dalam tanah menyebabkan kekuatan tanah menjadi turun sehingga mengakibatkan degradasi nilai daya dukung CBR. Peningkatan angka CBR rendaman dan tidak direndam terjadi optimal saat

prosentase abu terbang 15%. Pada kondisi direndam, apabila berat abu terbang ditingkatkan menjadi 20%, daya dukung CBR justru berkurang dan nilainya lebih kecil daripada kandungan fly ash sebesar 10%. Sebaliknya untuk kondisi tanpa direndam mengalami kenaikan daya dukung CBR yang nilainya tidak terlalu tinggi. Semakin meningkatnya prosentase berat abu terbang dalam campuran tanah, kecenderungannya membuat perbedaan daya dukung CBR antara kondisi direndam dengan kondisi tidak direndam semakin menyempit.

Dari Gambar 6 diatas dapat diambil kesimpulan bahwa apabila kandungan abu terbang meningkat pada tanah, maka massa volume kering tanah makin menurun. Kadar abu terbang yang optimal adalah sebesar 15%. Nilai CBR mempunyai kecenderungan semakin bertambah tinggi dengan penambahan abu terbang dalam

campuran, baik kondisi rendaman atau tanpa rendaman. Perbedaan nilai kepadatan kering antara ondisi rendaman dan tidak rendaman tidak berarti, artinya nilainya hampir sama. Kepadatan kering tanah berbanding lurus dengan besarnya nilai kepadatan kering maksimum (*MDD*), serta bertolak belakang dengan optimum moisture content (*OMC*). Alhasil, apabila berat volume kering sampel pengujian mengalami penurunan karena penambahan berat abu terbang, maka berat kering maksimum (*MDD*) menjadi makin menurun, sementara kadar air optimum (*OMC*) akan semakin meningkat. Di sisi lain, penambahan abu terbang tetap akan meningkatkan daya dukung tanah dengan pengujian CBR rendaman atau CBR tidak rendaman dikarenakan berkurangnya indek plastisitas tanah meskipun gravitas khusus (*Gs*) mengalami penurunan.



Gambar 6 Pengaruh Abu Terbang Terhadap Nilai CBR dan Density pada Sisi Basah

Pengaruh Cara Pemeraman Terhadap Daya Dukung CBR

Selain karena jenis tanah, nilai daya dukung CBR berubah bergantung dari kadar air, perendaman (*soaking*), dan pemeraman (*curing*). Metode pemeraman (*curing*) juga mempegaruhi besar daya dukung CBR karena tingkat reaksi tiap-tiap zat aditif (pozolon) membutuhkan

waktu ikat yang berbeda-beda tergantung dari lama waktu pemeraman dan metode pemeraman. Pembuatan sampel uji CBR dilakukan dalam kondisi kadar air di atas *OMC* (pada sisi basah), tanpa rendaman (*unsoaked*), dimana sampel diperam dalam suatu ruang tertutup dengan suhu dijaga tetap (suhu kamar) selama 4 (empat) minggu. Pemeraman dengan melepaskan *mould* cetakan dan hanya

dibungkus (*wrapping*) dengan plastik untuk memodelkan kondisi asli di lapangan. Perawatan stabilisasi tanah di lapangan biasanya membiarkan timbunan tidak diberi beban tanpa kekangan samping

Tabel 4 Nilai daya dukung CBR dengan perlakuan curing berbeda

Unsoaked CBR Curing 28 days (%)		
Variation of samples	With mould (1)	Without mould (2)
100%C	10.31	7.54
90%C+10%FA	20.68	20.08
85%C+15%FA	27.79	26.59
80%C+20%FA	27.19	18.33
75%C+25%FA	23.98	22.78
70%C+30%FA	25.33	22.82

(sumber: hasil analisis)

Perlakuan pertama (*with mould*) adalah setelah dipadatkan dalam mold CBR langsung dibungkus dengan plastik *wrapped* kemudian diperam dalam ruang tertutup pada suhu kamar. Curing perlakuan kedua (*without mould*) setelah selesai sampel dicetak dalam mold CBR, langsung dikeluarkan, kemudian dimasukkan kedalam plastik, diikat dan dilapisi plastik *wrapped* sampai kencang, kemudian diperam 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4. Merujuk Tabel 4 di atas, penambahan abu terbang akan meningkatkan daya dukung tanah. Perbedaan nilai daya dukung tanah pada perlakuan curing pertama dengan curing kedua cenderung kemungkinan karena daya ikat antar butiran lempung dan abu terbang yang berbeda. Semakin besar daya ikat, pelepasan mold (*confining*) tidak membuat ikatan antar butiran lepas. Pemeraman metode pertama memiliki daya dukung CBR lebih tinggi daripada pemeraman metode kedua, dengan nilai daya dukung tertinggi pada kandungan abu terbang yang sama. Perawatan sampel dengan pemeraman sangat efektif meningkatkan daya dukung tanah. Daya dukung tanah maksimum terjadi pada kandungan fly Ash sebesar 15%, dengan nilai CBR sebesar 27.79%. dan 26.59%

berturut-turut untuk curing metode pertama dan metode kedua. Kadar optimum *fly ash* mendekati hasil penelitian Apriyanti dkk sebesar 16% [12] dan penelitian Kusama dkk serta Mina dkk sebesar 20% [13], [14]

5 KESIMPULAN

Pencampuran *fly ash* pada lempung mempunyai efek menjadikan gravitas khusus (*Gs*), indeks plastisitas (*PI*) nilainya cenderung turun. Kepadatan kering tanah maksimum menurun, kadar air optimum meningkat dengan makin tingginya kandungan abu terbang dalam campuran. Bertambahnya kadar abu terbang, maka daya dukung tanah (nilai CBR) akan semakin meningkat. Pencetakan sampel pada kandungan air lebih tinggi dari nilai kadar air optimum, daya dukung CBR sampel menurun dikarenakan berkurangkan kepadatan kering tanah dari nilai maksimum. Pengujian daya dukung sampel dengan uji CBR laboratorium setelah proses pemadatan dalam *mould* CBR metode pertama yaitu setelah mencetak sampel dalam mold kemudian dirawat selama 4 (empat) minggu memiliki nilai CBR lebih tinggi dibandingkan angka CBR pada tanah curing metode kedua yaitu setelah dicetak dengan *mould* CBR lalu dikeluarkan untuk diperam selama 28 hari menggunakan plastik (diperam tidak didalam mold)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. W. Hartosukma, "Perilaku Tanah Lempung Ekspansif Karangawen Demak Akibat Penambahan Semen dan Fly Ash sebagai Stabilizing Agents," Universitas Diponegoro, 2005.
- [2] M. Iqbal, S. A. Nugroho, and F. Fatnanta, "Pengaruh Kadar Lempung dan Kadar Air pada Sisi Basah terhadap Nilai CBR pada Tanah Lempung Kepasiran (Sandy Clay)," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 1, no. 2, pp. 1–12, 2014.

- [3] P. Ningrum, S. A. Nugroho, and Muhardi, "Pengaruh Penambahan Air di atas Kadar Air Optimum Terhadap Nilai CBR dengan dan Tanpa rendaman pada Tanah Lempung yang Dicampur Abu Terbang," *JOM FTeknik Univ. Riau*, vol. 1(2), pp. 1–7, 2014.
- [4] S. A. Nugroho, Muhardi, and P. Ningrum, "Pemanfaatan Limbah Abu Terbang PT IKPP Untuk Campuran Tanah Setempat Sebagai Timbunan Subgrade Jalan," in *Proceedings The 19th International Symposium of FSTPT*, 2016, vol. X, no. Xx, pp. 1075–1084.
- [5] G. S. Budi, A. Cristanto, and E. Setiawan, "Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 5, no. 1, pp. 20–24, 2003, doi: 10.1007/SpringerReference_226331.
- [6] B. M. Das, *Advanced Soil Mechanics*, 5th ed. New York, USA: Taylor&Francis Group, 2019.
- [7] B. M. Das, *Fundamentals of Geotechnical Engineering*, 4th ed. Stanford, USA: Global Engineering, 2012.
- [8] B. M. Das and K. Sobhan, *Principles of Geotechnical Engineering*, 8th ed. Stanford, USA: Global Engineering, Christopher M. Shortt, 2012.
- [9] Muhardi, S. A. Nugroho, and P. Ningrum, "Perubahan nilai CBR pada kadar air optimum – basah campuran tanah lempung dan abu terbang," in *Proceedings The 16th Annual Geotechnical Engineering Meeting*, 2016, no. November.
- [10] ASTM C 618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," American Society of Testing Materials, 2002, pp. 1–3.
- [11] G. K. Al-chaar, M. Alkadi, and P. G. Asteris, "Natural Pozzolan as a Partial Substitute for Cement in Concrete," pp. 33–42, 2013.
- [12] Y. Apriyanti and R. Hambali, "Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar," *Fropil*, vol. 2, no. 2, pp. 151–162, 2014.
- [13] E. Mina, R. I. Kusuma, and I. S. L. Subowo, "Pengaruh Fly Ash Terhadap Nilai CBR dan Sifat Sifat Propertis Tanah (Studi Kasus : Jalan Raya Bojonegara km 19 Serang Banten)," *J. Fondasi*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [14] R. I. Kusuma, E. Mina, and A. F. Irhamma, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Fly Ash Terhadap Nilai CBR," *J. Fondasi*, vol. 2, no. 2, pp. 1–13, 2013.