

## PERUBAHAN PLASTISITAS DAN PERMEABILITAS TANAH LEMPUNG (CH) TERHADAP PENAMBAHAN SEMEN DAN LIMBAH BAFA

\*Syawal Satibi<sup>1</sup>, Lala Monang Robert Christian Zega<sup>2</sup> and Soewignjo Agus Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Indonesia

\*Corresponding Author (syawalsatibi@gmail.com)

<b>Abstract</b> High Plasticity Clay (CH) soils have poor material characteristics, such as large shrinkage which results in high plasticity so that soil improvement is required using cement and coal waste is added (bottom ash and fly ash). The purpose of adding the mixture is to see its effect on changes in the properties of soil plasticity and permeability. BAFA variation is 4%, 8%, 12% and 16%, cement variation is 3% and 5%. Atterberg limit and soil permeability testing is carried out on ripening day 0.7 and 28 days. The test results show changes in the value of Plasticity Index (Plasticity Index) or the value of PI and the value of k (constant) in the soil permeability test that has been added to the mixed material. Based on the results of the atterberg limit test, there was a decrease in the value of the soil plasticity index (PI) and the liquid limit value (LL) while the plastic limit (PL) experienced an increase in value along with the increase in cement content and BAFA waste, while in the soil permeability test it was known that the original soil sample was more difficult to penetrate water compared to soil samples that have been mixed with cement and BAFA waste.	<b>Article history:</b> <i>Received:</i> 13 May 2022 <i>Accepted:</i> 2 June 2022 <i>Available online:</i> 27 July 2022. <b>Keywords:</b> <i>Bottom Ash, Fly Ash, Semen, Permeabilitas, Atterberg Limit.</i>
---	--

### 1. PENDAHULUAN

Tanah lempung plastisitas tinggi (CH) memiliki kembang susut atau perubahan volume yang besar, sehingga dalam kondisi mengering akan terjadi penyusutan dan menimbulkan keretakan dibagian permukaan tanah sedangkan ketika menyerap air, tanah akan mengembang. Menurut Das, (2008) Tanah lempung plastisitas tinggi diklasifikasikan sebagai tanah lunak dengan daya dukung dan kekuatan yang rendah. Tanah lempung sendiri bersifat menyerap air dan memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat pada jenis tanah lain. Dilatansi adalah sifat yang menunjukkan gejala perubahan isi apabila lempung itu dirubah bentuknya. Tanah lempung plastisitas tinggi memiliki fluktuasi kembang susut tinggi dan sering menimbulkan kerusakan pada bangunan seperti retaknya dinding, terangkatnya pondasi, jalan bergelombang dan sebagainya. Berdasarkan sifat tersebut tanah lempung plastisitas tinggi memerlukan perbaikan, umumnya dengan cara stabilisasi dengan mencampurkan bahan additive yang bersifat mengikat untuk mengurangi kembang susut tanah tersebut.

Bottom ash dan fly ash, merupakan bahan tambah (additive) yang diperoleh dari hasil pembakaran batubara atau bisa disebut juga bahan limbah (residu) batubara. Bottom ash dan fly ash,

merupakan bahan tambah yang memiliki sifat dan kandungan yang hampir sama, hanya dibedakan dengan besaran kadar senyawa dan ukuran butirannya. Menurut ASTM C618, fly ash dibagi menjadi 2 kelas yaitu fly ash kelas F (CaO < 10%) dan fly ash kelas C (CaO > 10%). Perbedaan utama dari bottom ash dan fly ash adalah besaran presentase unsur senyawa yang dikandungnya seperti Kalsium, Silika, Aluminium, dan kadar besi.

PT. Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP) Perawang, Riau merupakan salah satu perusahaan pengguna batu barasebagai bahan bakar. Menurut Anam (2008) konsumsi batu bara oleh PT. IKPP Perawang pada tahun 2005 sebesar 530.440 ton sementara menurut Kementerian ESDM, (2019) produksi batubara nasional sebesar 548 juta ton. Jumlah produksi batubara tahun 2018 menghasilkan limbah BAFA sebesar 5% sampai 6% dari total produksi atau sebesar 27 juta ton sampai 37,4 juta ton. Limbah BAFA ini menjadi permasalahan terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Maka dari itu penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah BAFA sebagai bahan tambah (additive) dalam usaha stabilisasi tanah lunak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan additive semen dan limbah BAFA (bottom ash dan fly ash) terhadap perubahan plastisitas dan

permeabilitas tanah yang variasi kadar campurannya berbeda-beda terhadap lama waktu pemeraman, dengan menggunakan metode pembuatan sampel CBR pada sampel permeabilitas yang dibuat pada kondisi tanpa rendaman (unsoaked).

Batasan masalah pada penelitian yang pertama dibatasi pada nilai atterberg limit tanah lempung CH (tanah asli) sebelum dan sesudah dicampur menggunakan semen dan limbah BAFA dengan persentase kadar semen 3% dan 5% sementara limbah BAFA sebesar 4%, 8%, 12%, dan 16%. Batasan kedua yaitu pada pengujian permeabilitas dibatasi pada nilai k (konstanta) tanah lempung CH (tanah asli) sebelum dan setelah penambahan semen dan limbah BAFA dengan kadar semen dan BAFA sama dengan pengujian atterberg limit. Perlakuan terhadap sampel meliputi tanpa pemeraman untuk sampel tanah asli dan pemeraman sampel untuk variasi tambahan semen serta limbah BAFA, pemeraman sampel dikedua pengujian yaitu 0 hari, 7 hari, dan 28 hari, dengan alat uji Cassagrande dan alat uji Permeabilitas Tanah.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tanah Lempung

Suatu pekerjaan konstruksi tanah mendapat posisi penting dalam perencanaan pembangunan. Kebanyakan problem tanah dalam bidang keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif. Tanah kohesif ini didefinisikan sebagai kumpulan dari partikel mineral yang mempunyai tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur kimia, tekstur dan partikel serta pengaruh lingkungan sekitarnya.

#### 2.1.1. Karakteristik Tanah Lempung

Menurut Das (1995) Tanah lempung umumnya terbentuk dari Hidrat Aluminium Silika bercampur bahan organik, bersifat kohesif, berplastis, mudah terkonsolidasi bila terbebani dan mempunyai kembang-susut akibat perubahan kadar air. Pengembangan (swelling) tanah ekspansif merupakan pembesaran volume akibat penambahan kadar air. Potensi pembesaran volume tergantung dari peningkatan kadar air, indeks plastisitas, gradasi dan tekanan overburden.

Penyusutan (shrinkage) tanah ekspansif merupakan pengecilan volume akibat pengurangan kadar air. Penyusutan ini terjadi apabila kadar air tanah berkurang hingga mencapai lebih kecil dari nilai batas susutnya.

Tanah lempung memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis tanah pada umumnya yaitu:

1. Mineral lempung yang menyebabkan perubahan volume umumnya mengandung Montmorillonite atau Vermiculite,

sedangkan Illite dan Kaolinite dapat bersifat ekspansif bila ukuran partikelnya sangat halus

2. Kimia tanah, meningkatnya konsentrasi kation dan bertambahnya tinggi valensi kation dapat menghambat pengembangan tanah.
3. Plastisitas, tanah dengan indeks plastisitas dan batas cair yang tinggi mempunyai potensi untuk mengembang yang lebih besar dan menyebabkan daya dukung rendah.
4. Struktur tanah lempung yang bersifat flokulasi cenderung lebih ekspansif dibandingkan dengan yang berifat dispersi.

Berat isi kering, tanah yang mempunyai berat isi kering yang tinggi menunjukkan jarak antar partikel yang kecil, hal ini berarti gaya tolak yang besar dan potensi pengembangan yang tinggi.

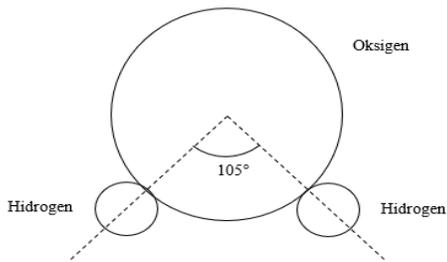
#### 2.1.2. Sifat dan Reaksi Lempung Terhadap Air

Air sangat mempengaruhi sifat tanah lempung, karena butiran dari tanah lempung sangat halus, sehingga luas permukaan spesifikasinya menjadi lebih besar. Pertemuan molekul air dan partikel lempung akan menimbulkan lekatan kuat, sebab air akan tertarik secara elektrik dan air akan berada disekitar partikel lempung yang disebut air lapisan ganda, sedangkan air yang berada pada lapisan dalam disebut air resapan, Lapisan air disebut UMF (Unhindered Moisture Film).

Menurut Hadiyatmo, (1992) menerangkan bahwa molekul air bersifat dipolar, yang berarti memiliki muatan positif dan negatif pada ujung yang berlawanan sehingga dapat tertarik oleh permukaan lempung secara elektrik dalam 3 kasus, yaitu:

1. Tarikan antar permukaan negatif dan partikel lempung dengan ujung positif dipolar.
2. Tarikan antar kation-kation dalam lapisan ganda dengan muatan negatif dari ujung dipolar. kation-kation ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif.
3. Andil atom-atom hidrogen dalam molekul air, yaitu ikatan hidrogen antara atom oksigen dalam molekul-molekul air.

Semakin luas permukaan spesifik tanah lempung, air yang tertarik secara elektrik disekitar partikel lempung yang disebut air lapisan ganda jumlahnya akan semakin besar. Molekul air merupakan molekul dipolar karena atom hydrogen tidak tersusun simetris disekitar atom oksigen, melainkan membentuk sudut ikatan  $105^\circ$  akibatnya molekul-molekul air berperilaku seperti batang-batang kecil yang mempunyai muatan positif disatu sisi dan muatan negatif disisi lain, seperti dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sifat Dipolar Molekul Air

Sumber : Das Braja M (1985)

Interaksi antara molekul-molekul air dengan partikel lempung dapat melalui tiga proses. Pertama, kutub positif dipolar air akan saling tarik menarik dengan muatan negatif permukaan partikel lempung. Kedua, molekul air diikat oleh partikel lempung melalui ikatan hydrogen (hydrogen air ditarik oksigen atau Hidroksil lain yang ada pada permukaan partikel lempung). Proses ketiga, penarikan molekul air oleh muatan negatif permukaan lempung secara berantai melalui kation yang menampung dalam larutan air. Faktor paling dominan adalah proses ikatan Hydrogen. Menurut Mitchell (1976) molekul air dekat permukaan akan memiliki sifat kelistrikan dan Termodinamika yang berbeda dengan molekul air bebas yang sangat jauh dari daerah ikatan. Jumlah molekul air yang berinteraksi dengan permukaan lempung akan sangat dipengaruhi oleh jenis mineral yang ada yaitu pada nilai luasan permukaan spesifiknya (Specific Surface). Luas permukaan lempung merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya molekul air yang ditarik untuk membentuk lapisan listrik rangkap (Diffuse Double Layer). Fenomena ini mengidentifikasi kemampuan mineral lempung menarik molekul air atau menunjukkan kapasitas perilaku plastis tanah lempung.

## 2.2. Semen PCC (Portland Composite Cement)

Bahan dasar semen pada umumnya ada 3 macam yaitu klinker / terak (70% hingga 95%, merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir Silika, pasir besi dan lempung), Gypsum (sekitar 5%, sebagai zat pelambat pengerasan) dan material ketiga seperti batu kapur, Pozzolan, abu terbang, dan lain-lain. Jika unsur ketiga tersebut tidak lebih dari sekitar 3% umumnya masih memenuhi kualitas tipe 1 atau OPC (Ordinary Portland Cement). Namun bila kandungan material ketiga lebih tinggi hingga sekitar 25% maksimum, maka semen tersebut akan berganti tipe menjadi PCC (Portland Composite Cement).

Umumnya terdapat 5 (lima) tipe semen, yaitu :

1. Semen portland biasa / OPC (Ordinary Portland Cement), digunakan umum untuk bahan bangunan tanpa ada persyaratan khusus.

2. Semen tahan Sulfat sedang (Moderat Sulfate-Resistant Cement), digunakan pada konstruksi/bangunan dengan persyaratan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Semen kekuatan cepat tinggi (High Early Strength Cement), digunakan pada konstruksi yang mengharuskan mempunyai kekuatan awal yang tinggi.
4. Semen Hidrasi Panas Rendah (Low Heat of Hydration Cement), digunakan pada konstruksi yang mempersyaratkan panas hidrasi rendah.
5. Semen tahan Sulfat tinggi (Highly Sulfate-Resistant cement), digunakan untuk konstruksi yang menuntut memiliki ketahanan tinggi terhadap Sulfat.

Komposisi senyawa kimia dari semen PCC Portland Composite Cement dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Dan Fisik Semen PCC

Komposisi	PCC (%)
$Al_2O_3$	7,40
$CaO$	57,38
$SiO_2$	23,04
$Fe_2O_3$	3,36
Kehalusan	2,00
Berat isi (kg/l)	1,15

Sumber: (Susanto, Djauhari, & Olivia, 2019)

Semen PCC (Portland Composite Cement) digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan semen portland tipe I dengan kuat tekan yang hampir sama. Semen PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan semen jenis lainnya. Sifat dari semen PCC dibutuhkan untuk mengurangi panas hidrasi yang biasanya akan menimbulkan keretakan bagian dalam material sehingga hasil yang didapatkan kurang maksimal.

## 2.3. Limbah Pembakaran Batubara

BAFA atau yang disebut fly ash dan bottom ash merupakan limbah atau residu dari pembakaran batubara. Berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 abu terbang dan abu dasar dikategorikan sebagai limbah B3 karena mengandung logam berat tetapi tidak beracun, diantaranya Silika ( ), Alumina ( ), Fero Oksida ( ) dan Kalsium Oksida ( ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu Magnesium Oksida ( ), Titanium Oksida ( ), Alkalin ( dan ), Sulfur Trioksida ( ), Pospor Oksida ( ) dan Carbon.

2.3.1. Fly ash

Menurut ASTM C618 fly ash dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua fly ash tersebut adalah banyaknya Calsium, Silika, alumunium dan kadar besi di ash tersebut. Fly ash kelas F mempunyai sifat Pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat Cementitious, Fly ash kelas F mempunyai kadar kapur yang rendah ( < 10%). Fly ash kelas C juga mempunyai sifat pozolanic dan mempunyai sifat Self-Cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah Strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur, fly ash kelas C memilki kadar ( > 10%). Fly ash kelas C lebih baik dari kelas F karena selain berfungsi sebagai filler dapat memberi ikatan-ikatan yang kuat pada tanah karena mempunyai sifat Self-Cementing. Kandungan kimia fly ash terhadap jenisnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan kandungan senyawa kimia fly ash pada Tabel 3.

Tabel 2. Kandungan Kimia Fly Ash Jenis F dan C

Senyawa Kimia	Jenis F (%)	Jenis C (%)
1. Oksida Silika ( $SiO_2$ ) + Oksida Alumina ( $Al_2O_3$ ) + Oksida Besi ( $Fe_2O_3$ )	70.0	50.0
2. Trioksida Sulfur ( $SO_3$ )	5.0	5.0
3. Kalsium Oksida ( $CaO$ )	<10	>10
4. Kadar Air	3.0	3.0
5. Kehilangan Panas	6.0	6.0

Sumber : ASTM C618 (2017)

Tabel 3. Senyawa Kimia Fly Ash dari PT. IKPP Perawang

Senyawa Kimia	Presentase (%)
$SiO_2$	45,58
$Al_2O_3$	37,53
$Fe_2O_3$	11,17
$CaO$	1,74
LOI	0,56

Sumber : Maharani (2011)

Hasil pengujian komposisi kimia abu terbang (fly ash) batubara yang berasal dari PT. IKPP Perawang Riau yang diteliti oleh Maharani (2012) merupakan fly ash kelas F dengan kadar .

2.3.2. Bottom Ash

Bottom ash merupakan limbah hasil pembakaran batubara, namun ukuran bottom ash lebih besar dari fly ash, sehingga bottom ash jatuh ke dasar tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprotkan dengan air kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambah. Hasil pengujian komposisi kimia abu batubara yang berasal dari PT.

IKPP Perawang Riau, yang diteliti oleh Nainggolan (2012) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Senyawa Kimia Bottom Ash dari PT. IKPP Perawang

Senyawa Kimia	Presentase (%)
$SiO_2$	58,79
$Al_2O_3$	20,33
$Fe_2O_3$	9,78
$CaO$	3,17

Sumber : Nainggolan (2012)

Material bottom ash memiliki beberapa karakteristik dimana sifat dan susunan senyawa kimia penyusun bottom ash dipengaruhi oleh cara penyimpanan, metode pembakaran dan perbedaan mutu batubara. Bottom ash dianggap dapat menjadi pengganti semen karena mempunyai salah satu unsur kimia semen yang penting pada proses pengikatan yaitu Silika (Ristinah, 2012), sehingga bottom ash tersebut diharapkan dapat bekerja sebagai bahan tambah maupun pengganti semen dalam campuran tanah.

2.4. Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir-butir dengan berat air destilasi dalam volume yang sama pada temperatur tertentu. Berat jenis dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang umumnya sebagian besar terdiri dari Quartz yang dapat diperkirakan sebesar 2,65, sedangkan tanah berlempung atau berlanau harga tersebut berkisar 2.6 sampai 2,9 (Das, 2014), sedangkan Specific Gravity material fly ash berkisar antara 1,9 – 2,55 dan bottom ash berkisar antara 2,0 – 2,6 Kim et al (2006). Untuk selengkapnya berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 5 dan berat jenis bottom ash serta fly ash pada Tabel 6.

Tabel 5. Berat Jenis Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Sumber: Hardiyatmo, (1992)

Tabel 6 Berat Jenis Bottom ash dan Fly ash

Jenis Material	Berat Jenis (Gs)
Bottom Ash	1.9 – 2,55
Fly ash	2 – 2,6

Sumber: Kim et al (2006)

**2.5. Pengujian Atterberg Limit**

Pengujian Atterberg Limit bertujuan untuk mengetahui nilai-nilai batas cair (Liquid Limit), batas plastis (Plastic Limit), dan indeks plastisitas (Plasticity Index). Alat yang digunakan dalam pengujian adalah Casagrande, yang terdiri dari mangkuk kuning yang tertumpu pada dasar karet yang keras, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat Casagrande dalam pengujian Atterberg Limit

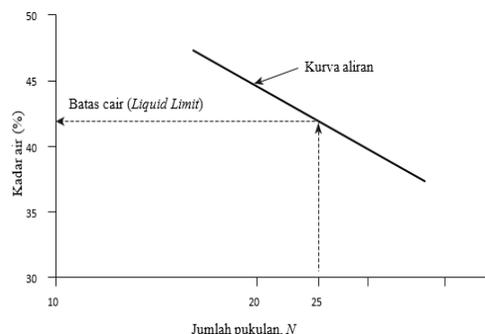
mangkuk porselen atau sejenis mangkuk tersebut untuk mengaduk dan dengan diameter sekitar 115. Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah ini metode penggelengan terdiri dari 2 prosedur yaitu penggelengan menggunakan telapak tangan dan penggelengan menggunakan alat geleng batas cair (sebagai prosedur alternatif).

a) Batas Cair (Liquid Limit)

Batas cair (liquid limit), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (Hardiyatmo, 2002). Untuk melakukan uji batas cair, pasta tanah diletakkan di dalam mangkuk kuning kemudian digores tepat ditengahnya dengan menggunakan alat penggores standar, dengan menjalankan alat pemutar, mangkuk kemudian dinaik turunkan dari ketinggian 0,3937 in (10 mm).

kadar air dinyatakan dalam persen, dari tanah yang dibutuhkan untuk menutup goresan yang berjarak 0,5 in (12,7 mm) sepanjang dasar contoh tanah di dalam mangkuk sesudah 25 pukulan didefinisikan sebagai batas cair (Das, 2008). Mengatur kadar air dari tanah yang bersangkutan agar dipenuhi persyaratan diatas ternyata sangat sulit. Oleh karena itu, akan lebih baik kalau dilakukan uji batas cair paling sedikit empat kali pada tanah yang sama tetapi ada kadar air yang berbeda-beda sehingga jumlah pukulan N, yang dibutuhkan untuk menutup goresan bervariasi Antara 15 dan 35. Kadar air tanah dalam persen dan jumlah pukulan untuk masing-masing uji digambarkan diatas kertas grafik semi-log.

Hubungan antara kadar air dan Log N dapat dianggap sebagai suatu garis lurus. Garis lurus tersebut dinamakan sebagai kurva aliran (flow curve). Kadar air yang bersesuaian dengan N = 25, yang ditentukan dari kurva aliran adalah batas cair dari tanah yang bersangkutan (Das, 2008) seperti yang dicontohkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Batas Cair

Sumber: (Das, 1988)

b.) Batas Plastis (Plastic Limit).

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah (Hardiyatmo, 2002). Menurut Das, (2008) Pengujian batas plastis dilakukan dengan cara menggulung massa tanah berukuran elipsoidal dengan telapak tangan di atas kaca datar.

c.) Indeks Plastisitas (Plasticity Index)

Indeks plastisitas adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau batas cair dikurangi dengan batas plastis.

**2.6. Pengujian Permeabilitas**

Menurut Das, (2004) mengemukakan bahwa permeabilitas adalah cepat lambatnya air merembes ke dalam tanah baik melalui pori makro maupun pori mikro baik ke arah horizontal maupun vertikal. Menurut Hardiyatmo, (2002) Tanah terdiri dari butiran-butiran dengan ruangan-ruangan yang disebut pori (Voids) antara butiran-butiran tanah tersebut. Pori-pori tersebut selalu berhubungan satu sama lainnya sehingga memungkinkan air untuk mengalir melaluinya. Sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah itu disebut permeabilitas tanah. Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada beberapa faktor, yaitu kekentalan cairan, distribusi pori, distribusi butiran, angka pori, kekasaran butiran dan derajat kejenuhan tanah. Hukum Darcy menunjukkan bahwa permeabilitas tanah ditentukan oleh koefisien permeabilitasnya. Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada berbagai faktor.

Setidaknya, ada enam faktor utama yang memengaruhi permeabilitas tanah, yaitu:

1. Viskositas Cairan, yaitu semakin tinggi viskositasnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin kecil.
2. Distribusi Ukuran Pori, yaitu semakin merata distribusi ukuran porinya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
3. Distibusi Ukuran Butiran, yaitu semakin merata distribusi ukuran butirannya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
4. Rasio Kekosongan (Void Ratio), yaitu semakin besar rasio kekosongannya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin besar.
5. Kekasaran Partikel Mineral, yaitu semakin kasar partikel mineralnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

Derajat Kejenuhan Tanah, yaitu semakin jenuh tanahnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yaitu terdiri dari studi literatur dan melakukan eksperimen yaitu melakukan pengujian sesuai standar dalam memperoleh data yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Fakultas Teknik Universitas Riau.

#### 3.1 Peralatan dan Material

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Alat uji berat jenis (specific gravity)
2. Alat uji Atterberg Limit
3. Alat uji Permeabilitas

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tanah lempung plastisitas tinggi (CH) yang diambil dari desa Muara Fajar, Kec.Rumbai, Riau.
2. Abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash) diperoleh dari limbah industri hasil pembakaran batu bara yang diambil dari PT. Indah Kiat
3. Semen PCC (Portland Composite Cement)

#### 3.2 Variasi Sampel

Variasi jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa :

1. Jenis sampel I : 100 % Tanah

2. Jenis sampel V :3% PCC+4%, 8%, 12%, 16% Bottom Ash + Fly Ash
3. Jenis sampel VI :3% PCC+4%, 8%, 12%, 16% Bottom Ash + Fly Ash
4. Jenis sampel VII :3% PCC+4%, 8%, 12%, 16% Bottom Ash + Fly Ash
5. Jenis sampel II :5% PCC+4%, 8%, 12%, 16% Bottom Ash + Fly Ash
6. Jenis sampel III :5% PCC+4%, 8%, 12%, 16% Bottom Ash + Fly Ash
7. Jenis sampel IV :5% PCC+4%, 8%, 12%, 16% Bottom Ash + Fly Ash

Dalam memudahkan penelitian maka dilakukan pengkodean nama setiap variasi sampel, berikut keterangan pengkodean sampel pada penelitian ini.

- A =Tanah Lempung Plastisitas Tinggi (Tanah Asli)
- S3 = Semen 3%
- S5 = Semen 5%
- B4 = BAFA 4%
- B8 = BAFA 8%
- B12 = BAFA 12%
- B16 = BAFA 16%
- C28 = Curing 28 Hari

#### 3.3 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian yang dilakukan untuk memperoleh data-data mengenai sifat properties dan mekanis benda uji.

1. Berat Jenis (Spesific Gravity).
2. Pengujian batas-batas Atterberg (Atterberg Limit).
3. Pengujian Permeabilitas Tanah

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengujian Propertis Tanah Asli

Data-data yang diperoleh yaitu berat jenis, batas plastis dan batas cair, indeks plastisitas, dan permeabilitas tanah. Hasil pengujian propertis tanah dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Propertic Tanah.

No.	Deskripsi Pengujian	Hasil
1.	<i>Spesific Gravity</i>	2,61
2.	<i>Atterberg Limit</i>	

a.	LL	69,59 %
b.	PL	32,39 %
c.	PI	37,20 %
3.	Permeabilitas Tanah	$6,04 \times 10^{-7}$ cm/det

**4.2. Hasil Pengujian Propertis Limbah BAFA**

Data-data pengujian propertis bottom ash dan fly ash dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Hasil Pengujian Propertis Bottom Ash dan Fly Ash

No.	Deskripsi Pengujian	Bottom Ash	Fly Ash
1	Specific Gravity	2,54	2,43
2	Berat Volume	1,17 gr/cm <sup>3</sup>	0,75 gr/cm <sup>3</sup>
3	Kadar Air	3,06 %	0,70%
4	Analisa Saringan	Lolos No.60 & Tertahan No.80	Lolos No.200

Hasil pengujian propertis bottom ash dan fly ash menunjukan nilai yang pada umumnya didapat pada kedua material tersebut, seperti nilai GS (Specific Grafity) BAFA yang telah dijelaskan pada Tabel 2.8. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nainggolan, (2012) terhadap kandungan senyawa kimia fly ash yang berasal dari PT. IKPP Perawang menjelaskan bahwa material tersebut masuk kedalam kelas F dalam penggolongan kelas fly ash.

**4.3. Pengujian Atterberg Limit**

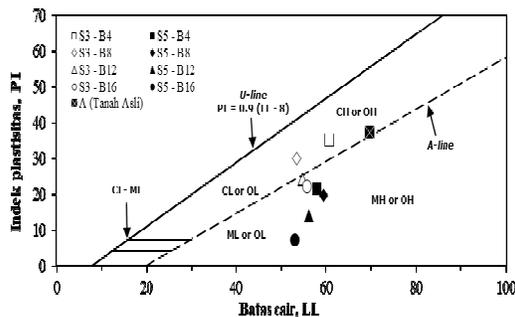
Sampel yang digunakan pada pengujian pengecekan ulang Atterberg Limit merupakan sampel yang telah mengalami pemeraman 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh BAFA dan semen terhadap perubahan nilai-nilai Atterberg Limit sampel campuran yang dibandingkan dengan nilai Atterberg Limit tanah

asli (A). Hasil pengujian Atterberg Limit Curing 28 Hari dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Atterberg Limit Campuran Curing 28 hari (C28).

Jenis Sampel	Nilai Atterberg Limit		
	LL (Liquid Limit)	PL (Plastic Limit)	PI (Plasticity Index)
A	69,59	32,39	37,20
S3 – B4	60,62	25,40	35,22
S3 – B8	53,32	23,40	29,92
S3 – B12	54,64	30,57	24,07
S3 – B16	55,55	33,31	22,25
S5 – B4	57,83	36,32	21,51
S5 – B8	59,35	39,63	19,72
S5 – B12	56,03	42,13	13,90
S5 – B16	52,89	45,72	7,17

Keseluruhan hasil tersebut jika nilai-nilainya dimasukan kedalam bagan plastisitas maka akan terlihat perubahan sifat tanah yang sebelumnya lempung plastisitas tinggi (CH) menjadi tanah lanau plastisitas tinggi (MH) dan lanau plastisitas rendah (ML). perubahan sifat tanah yang lebih mendasar yaitu menjadi plastisitas rendah yang berkaitan langsung dengan nilai PI pengujian Atterberg Limit sampel CBR campuran yang telah mengalami pemeraman (Curing) selama 28 hari, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



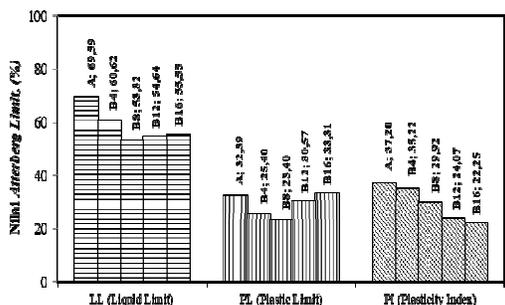
Gambar 4. Atterberg Limit sampel CBR campuran yang telah mengalami pemeraman (Curing) selama 28 hari

Hasil pengujian menjelaskan nilai dari sampel CBR campuran mempunyai trend nilai yang beragam, diantaranya nilai LL yang naik dan turun dari kenaikan kadar BAFA (B) disetiap variasi semen 3% dan 5% (S3 dan S5). Sama halnya dengan nilai LL, nilai PL juga mengalami nilai yang naik dan turun. Berbeda dengan nilai LL dan PL, nilai PI mempunyai nilai yang menurun secara konstan.

4.3.1. Pengaruh Penambahan Semen 3%

1. Penambahan BAFA menyebabkan batas cair tanah turun. Semakin besar kadar BAFA dalam campuran akan semakin kecil nilai batas cair.
2. Nilai batas plastis (PL) tanah juga mengalami kecenderungan penurunan nilai yang lebih besar dibanding kenaikannya, akibat penambahan kadar BAFA yang secara konstan kadarnya semakin meningkat.
3. Secara keseluruhan nilai indeks plastisitas pada sampel CBR semen 3% mengalami penurunan selaras dengan kenaikan kadar BAFA. Penurunan nilai ini diakibatkan penurunan nilai LL lebih besar dari penurunan PL.

Berdasarkan hasil dan uraian yang diperoleh terlihat perubahan-perubahan dari batas-batas nilai Atterberg Limit campuran semen 3%. Perubahan nilai tersebut jika dilihat dalam grafik diagram batang dapat dijelaskan sifat dari tanah yang awalnya plastisitas tinggi mulai berkurang karena pengaruh penambahan semen dan limbah BAFA serta telah mengalami pemeraman (curing) 28 hari, seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Atterberg Limit Campuran Semen 3% (S3) Curing 28 Hari (28)

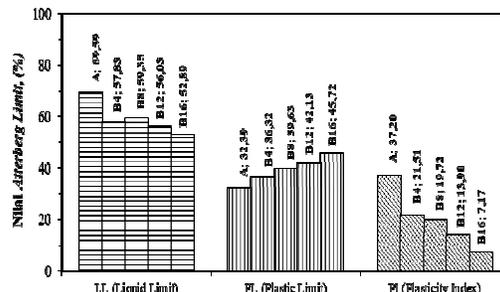
4.3.2. Pengaruh Penambahan Semen 5%

Nilai Atterberg Limit saat penambahan kadar semen sebesar 5% pada campuran lempung plastisitas tinggi ditambah BAFA:

1. Penambahan kadar BAFA pada sampel mengakibatkan kecenderungan penurunan nilai pada batas cair tanah.
2. Nilai batas plastis tanah pada sampel semen 5% mengalami kenaikan nilai. Hal ini menjadi bukti pengaruh penambahan kadar

semen PPC pada tanah yang dicampur BAFA membuat nilai batas plastis tanah meningkat.

3. Nilai indeks plastisitas mengalami kenaikan nilai yang diakibatkan penurunan nilai LL dan kenaikan nilai PL sehingga nilai PI tanah menjadi meningkat, seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Atterberg Limit Campuran Semen 5% (S5) Curing 28 Hari (28)

4.4. Pengujian Permeabilitas

Sampel yang digunakan pada pengujian Permeabilitas Tanah sampel CBR Campuran Curing 28 hari. Data yang diperoleh berupa nilai konstanta rembesan air melalui benda uji, seperti yang terlihat pada Tabel 10.

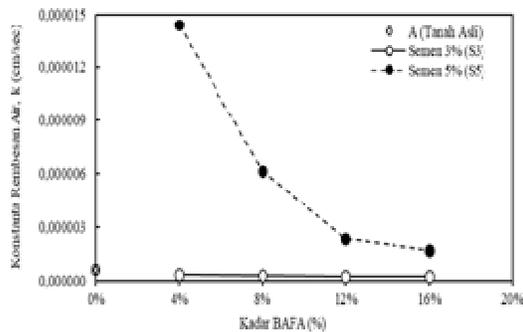
Tabel 10. Nilai Konstanta (k) Sampel CBR Curing 28 Hari

Jenis Sampel	Nilai k (cm/sec)
A	0,00000604
S3 – B4	0,00000343
S3 – B8	0,00000311
S3 – B12	0,00000265
S3 – B16	0,00000234
S5 – B4	0,000014405
S5 – B8	0,000006164
S5 – B12	0,000002316
S5 – B16	0,000001695

Hasil yang diperoleh dari pengujian permeabilitas sampel CBR Curing 28 hari kada semen 3% (S3) dan Semen 5% (S5) sebagai berikut.

1. Nilai k untuk variasi sampel A (Tanah Asli) sebesar cm/det yang merupakan acuan perbandingan untuk variasi dengan Semen 3% (S3) dan Semen 5% (S5).
2. Penambahan semen 3% (S3) di setiap variasi BAFA dimulai dari kadar B4 sampai B4 jika dibandingkan dengan nilai (k) tanah asli membuat sampel mengalami penurunan nilai konstanta air (k), dan mempunyai nilai (k) yang jauh lebih kecil dibanding kadar semen 5% (S5).
3. Penambahan k pada variasi semen 5% (S5) jika dibandingkan dengan nilai (k) tanah asli membuat sampel mengalami kenaikan nilai konstanta air (k), dan mempunyai nilai (k) yang jauh lebih besar dibanding kadar semen 3%. Nilai k terbesar pada variasi S5 terdapat pada kadar BAFA 4% (B4) dan terus menurun hingga pada kadar BAFA 16% (B16).

Keseluruhan hasil jika digambarkan kedalam diagram garis makan akan tampak seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Nilai (k) Sampel CBR Curing 28 hari Semen 3% dan Semen 5%.

## 5. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pengujian bahwa peningkatan kadar BAFA dan Semen dapat menurunkan nilai indeks plastisitas tanah (PI) dan nilai batas cair (LL) sementara batas plastis (PL) mengalami peningkatan nilai seiring dengan kenaikan kadar BAFA di semua variasi kadar semen jika dibandingkan dengan tanah asli.
2. Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas tanah didapat nilai k sebesar cm/det. Penambahan semen 3% (S3) menurunkan nilai k sampel mulai dari kadar BAFA terkecil hingga terbesar jika dibandingkan dengan nilai k pada sampel Tanah Asli (A) , namun berbeda pada kadar semen 5% (S5) yang meningkatkan nilai k mulai dari kadar BAFA yang terbesar hingga kadar BAFA yang terkecil. Ini membuktikan pada sampel variasi semen 3% (S3) akan membutuhkan waktu pembacaan yang lebih lama

dibandingkan dengan sampel variasi semen 5% (S5).

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618. (2017). Astm C 618. 21–23.
- Bowles, J. E. (1979a). Physical and Geotechnical Properties of Soils. McGraw-Hill
- Bowles, J. E. (1979b). Physical and geotechnical properties of soils. In Physical and geotechnical properties of soils. McGraw-Hill.
- Das, B. M. (2004). Soil mechanics. In The Engineering Handbook, Second Edition.
- Das, B. M. (2008). Advanced Soil Mechanics. In Eos, Transactions American Geophysical Union.
- Das, B. M. (2014). Advanced Soil Mechanics 4th edition. In CRC press, Taylor & Francis Group.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan. In Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan.
- Hicks, R. G. (2002). Alaska Soil Stabilization Design Guide. State of Alaska Department of Transportation and Public Facilities Research & Technology Transfer Fairbanks, AK 99709-5399, 1–64.
- Maharani, & Muhandi. (2011). Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik. Jurnal Penelitian
- Nainggolan, A. S., & Muhandi. (2012). Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik. Jom FTEKNIK, 3(2), 8.
- Susanto, D., Djauhari, Z., & Olivia, M. (2019). Karakteristik Beton Portland Composite Cement (PCC) Dan Silica Fume Untuk Aplikasi Struktur di Daerah Laut. Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand).