

PENINGKATAN KUAT TEKAN BEBAS (UCS) TANAH LEMPUNG (CH) TERHADAP PENAMBAHAN LIMBAH BAFA (*BOTTOM ASH & FLY ASH*) DAN SEMEN

Lala Monang Robert Christian Zega¹⁾, Syawal Satibi²⁾, Soewignjo Agus Nugroho²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : lala.monang@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The research aims to increase the compressive strength of soils based on increasing the value of UCS testing. This study uses clay with high plasticity as research objects. This is done because the soil type is known to have problems in building construction. The method used is a UCS sample without a marinade which has been compiled according to calculations. The mixed samples that have been made are varied based on curing days which are 0 days, 7 days and 28 days with a variation of the cement mixture of 3% and 5% and a mixture of BAFA waste of 4%, 8%, 12% and 16%. a sample naming method is also provided so that it is easy to summarize the results of each test based on planned variations. Based on the test results that the addition of cement and BAFA increase the free compressive strength (C_u) and compressive strength (q_u) of high plasticity soft soil. This increase in value results in an increase in the value of E_{50} or increase the stiffness of the UCS sample. The highest increase in UCS occurred in soil with 5% cement and BAFA 16% with 28 days Curing. The increase in q_u in the UCS sample was greatest in the variation of sample A-S5-B16-C28 with a value of 94.79 kPa, this increase was 76.57% when compared with the value of q_u A which was 22.04 kPa. Based on microscopic testing of UCS samples, it can be seen that the higher the level of BAFA and Cement, changes in the structure of the sample look coarser and paler.

Keywords : UCS, Microscopic, Cement, Bottom Ash, Fly Ash.

A. PENDAHULUAN

Tanah lempung plastisitas tinggi (CH) memiliki daya dukung rendah dan sangat mudah terganggu konsistensinya yang diakibatkan oleh kadar air yang dikandungnya. Menurut Das, (2008) Tanah lempung plastisitas tinggi (CH) memiliki sifat dilatasi yang tinggi dan dikategorikan sebagai tanah lunak, dilatasi adalah sifat yang menunjukkan gejala perubahan isi

apabila lempung itu dirubah bentuknya atau dengan kata lain tanah lempung plastisitas tinggi mengandung mineral ekspansif akan mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar, apabila terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya.

Dilihat secara mikroskopis, secara fisiknya tanah lempung (*clays*) adalah tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel mineral yang berukuran

mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, seperti *Montmorillonite* atau *Vermiculite*, sedangkan *Illite* dan *Kaolinite* dapat bersifat ekspansif bila ukuran partikelnya sangat halus (Das, Endah, & Mochtar, 1995).

Bottom ash dan *fly ash* (BAFA), merupakan bahan tambah (*additive*) yang diperoleh dari hasil pembakaran batubara atau bisa disebut juga bahan limbah (*residu*) batubara. Menurut ASTM C618, *fly ash* dibagi menjadi 2 kelas yaitu *fly ash* kelas F ($\text{CaO} < 10\%$) dan *fly ash* kelas C ($\text{CaO} > 10\%$). Perbedaan utama dari *bottom ash* dan *fly ash* adalah besaran presentase unsur senyawa yang dikandungnya seperti *Kalsium*, *Silika*, *Aluminium*, dan kadar besi. Ketersediaan limbah BAFA di Indonesia terbilang cukup besar mengingat data yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi Sumber Daya Mineral ESDM, (2019) produksi batubara nasional sebesar 548 juta ton, dan 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.

PT. Indah Kiat *Pulp and Paper* (IKPP) Perawang, Riau merupakan salah satu perusahaan pengguna batubara sebagai bahan bakar. Menurut Anam (2008) konsumsi batu bara oleh PT. IKPP Perawang pada tahun 2005 sebesar 530.440 ton sementara limbah BAFA ini menjadi permasalahan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Maka dari itu pemanfaatan limbah

BAFA sebagai bahan tambah (*additive*) dalam usaha stabilisasi tanah lunak.

Semen PCC (*Portland Composite Cement*) pada dasarnya bersifat menambah kuat material yang dicampur, menurut Susanto, Djauhari, & Olivia, (2019) penggunaan semen jenis ini memiliki penambahan kuat yang tidak begitu besar pada hari-hari awal pencampuran, namun kekuatan akhirnya akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu bahkan akan melebihi penambahan kekuatan dari semen jenis lain seperti OPC dan PPC. Semen merupakan salah satu bahan tambah yang telah digunakan secara luas untuk menstabilisasi tanah bermasalah seperti menstabilisasi tanah lunak menggunakan *Deep Soil Cement Mixing*, *Jet Grouting* dan menstabilisasi tanah ekspansif dengan *Cement Mixing and Compaction*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan *additive* semen dan limbah BAFA (*bottom ash* dan *fly ash*) dalam upaya meningkatkan daya dukung tanah dengan variasi kadar campuran yang berbeda-beda terhadap lama waktu pemeraman, dengan kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*). Penggunaan persentase limbah BAFA menggunakan perbandingan 2:1 (2 untuk *bottom ash* dan 1 untuk *fly ash*) pada setiap variasi BAFA yang ditetapkan. Batasan masalah pada penelitian ini mengambil tanah asli dalam keadaan terganggu (*disturbed*) dan menggunakan semen dengan persentase kadar 3% dan 5%, sementara limbah BAFA sebesar 4%, 8%, 12%,

dan 16%. Perlakuan terhadap sampel meliputi tanpa pemeraman untuk sampel tanah asli dan pemeraman 0, 7, dan 28 hari pada sampel campuran.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1. Tanah Lempung.

Suatu pekerjaan konstruksi tanah mendapat posisi penting dalam perencanaan pembangunan. Kebanyakan permasalahan tanah dalam bidang keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif. Tanah kohesif 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.

B.1.1. Karakteristik Tanah Lempung

Tanah lempung pada proses pembentukannya merupakan hasil dari hasil pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian lagi prosesnya berasal dari aktifitas panas bumi atau *geothermal*. Menurut Das (1995), klasifikasi tanah berdasarkan *unified system*, tanah lempung termasuk dalam tanah berbutir halus, yaitu tanah yang lolos dari saringan No.200. Tanah lempung umumnya mempunyai kembang-susut akibat perubahan kadar air dan menjadikannya mengalami perubahan volume.

Pengembangan (*swelling*) tanah lempung plastisitas tinggi 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.

Struktur tanah lempung yang bersifat *flokulasi* cenderung lebih ekspansif dibandingkan dengan yang bersifat *dispersi*.

B.1.2. Sifat dan Reaksi Lempung Terhadap Air.

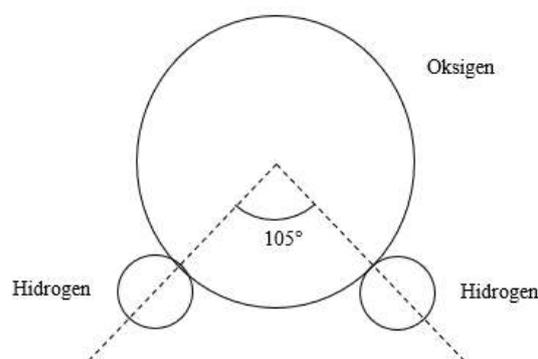
Air sangat mempengaruhi sifat tanah lempung, karena butiran dari tanah lempung sangat halus, sehingga luas permukaan spesifikasinya menjadi lebih besar. Pertemuan molekul air dan partikel lempung akan menimbulkan

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° 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)

B.2. 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), sedangkang *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 1 dan berat jenis *bottom ash* serta *fly ash* pada Tabel 2.

Tabel 1. Berat Jenis Berbagai 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 2 Berat Jenis *Bottom ash* dan *Fly ash*

Jenis Material	Berat Jenis (Gs)
<i>Bottom Ash</i>	1,9 – 2,55
<i>Fly ash</i>	2 – 2,6

Sumber: Kim et al (2006)

B.3. 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 3

Tabel 3. 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.

B.4. 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* (SiO_2), *Alumina* (Al_2O_3), *Fero Oksida* (Fe_2O_3) dan *Kalsium Oksida* (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu *Magnesium Oksida* (MgO), *Titanium Oksida* (TiO_2), *Alkalin* (Na_2O dan K_2O), *Sulfur Trioksida* (SO_3), *Pospor Oksida* (P_2O_5) dan *Carbon*.

B.4.1. 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.

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. 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)

B.4.2. 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 *Calcium*, *Silika*, *aluminium* 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 ($\text{CaO} < 10\%$).

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 memiliki kadar ($\text{CaO} > 10\%$). *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 5 dan kandungan senyawa kimia *fly ash* pada Tabel 6.

Tabel 5. 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 6. 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 $CaO < 10\%$.

B.5. Pemadatan Proctor (*Standart Proctor*)

Menurut Hardiyatmo (2002) menyatakan adanya hubungan yang

pasti antara kadar air dan berat volume kering yang padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya salah satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya (yd_{max}).

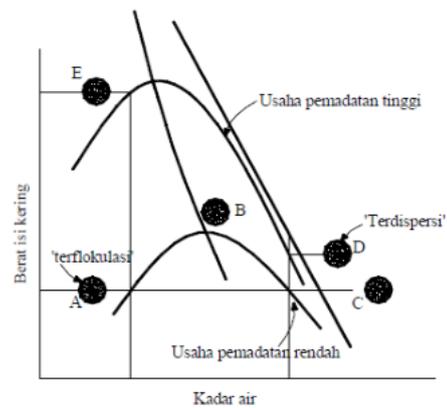
Pemadatan adalah merupakan suatu proses mekanis untuk mengeluarkan udara dan air yang terdapat pada pori-pori tanah. Usaha ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan kerapatan tanah untuk menghasilkan pemampatan partikel sehingga sifat-sifat teknis massa tanah menjadi lebih baik. Prosedur pemadatan dimulai dari pengeringan, penambahan air, butiran dan bisa ditambah dengan bahan stabilisasi. Penambahan kadar air sedemikian rupa pada proses ini menghasilkan kepadatan dengan sejumlah tumbukan menjadi lebih baik. Kadar air pada saat diperoleh nilai kepadatan maksimum disebut kadar air optimum.

Spesifikasi pemadatan proktor untuk pemadatan tanah mempunyai 4 variabel pemadatan yaitu:

1. Usaha pemadatan diperoleh dari jumlah gilasan di lapangan atau jumlah tumbukan untuk uji laboratorium.
2. Jenis tanah
3. Kadar air
4. Berat volume kering

Pengujian pemadatan tanah dilakukan untuk menentukan berat volume kering maksimum (yd_{max}) dan kadar air optimum (W_{opt}). Tanah yang

telah mengalami proses pemadatan akan menunjukkan kurva berat volume terhadap kadar air yang sama seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Gambar tersebut terlihat garis yang disebut *Zero Air Void (ZAV)*. Menurut ASTM, ada dua prosedur uji pemadatan, yaitu pemadatan *Modified* dan pemadatan *Standard Proctor*. Perbedaan dari kedua prosedur ini dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 2. Grafik Pemadatan Proctor
Sumber : Bowles (1979).

Tabel 7. Perbedaan Dari Dua Macam Prosedur Pemadatan

		<i>Standart Proctor</i>				<i>Modified Proctor</i>			
		ASTM D698		ASSHTO		ASTM D1557		ASSHTO	
		A	B	C	D	A	B	C	D
<i>Mold</i>	Inch	4	4	6	6	4	4	6	6
Saringan	Inch	No.4	3/8	3/4	3/4	No.4	3/8	3/4	3/4
Tinggi Jatuh	Mm	305	305	305	305	457	457	457	305
Berat Penumbuk	Kg	2.5	2.5	2.5	2.5	4.54	4.54	4.54	2.5
Jumlah Tumbukan		25	25	56	56	25	25	56	56
Jumlah Lapisan		3	3	3	3	5	5	5	3

Sumber: ASTM & AASHTO

B.6. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

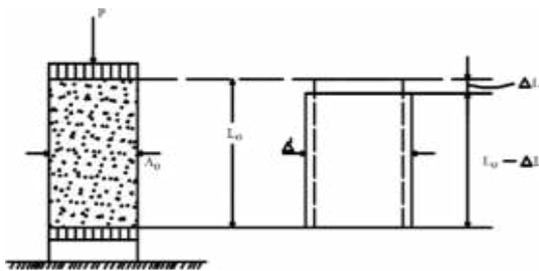
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan besarnya kuat tekan bebas contoh tanah yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*). Kuat tekan bebas didefinisikan sebagai besarnya beban aksial per satuan luas benda uji yang mengalami keruntuhan pada saat regangan aksialnya mencapai 20%. Pengujian ini banyak dilakukan dan cocok untuk jenis tanah lempung jenuh karena pembebanan yang cepat sehingga air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji. Tekanan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-

angsur ditambah hingga benda uji mengalami keruntuhan. Persamaan yang digunakan pada saat keruntuhan benda uji dan dapat dilihat pada Rumus (1). skema pengujian UCS dapat dilihat pada Gambar 3.

$$S_U = C_U = \frac{q_u}{2} \quad (1)$$

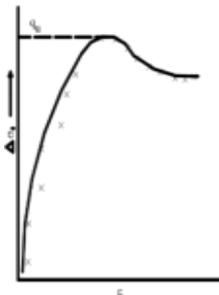
Dimana:

- S_U = Kuat geser *undrained* tanah
- C_U = Kuat geser *undrained* tanah
- q_u = Tegangan tanah maksimum pada pengujian tekan bebas



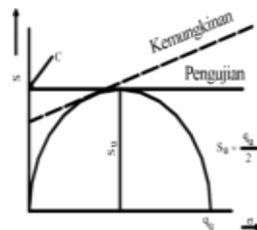
(a)

Dimensi contoh pada saat awal dan selama percobaan



(b)

Penggambaran tegangan-regangan untuk mendapatkan kekuatan tekan tak terkekang, q_u .



(c)

Lingkaran Mohr untuk uji tekan tak terkekang

Gambar 3. Skema Pengujian Tekan Bebas

Sumber: Bowles, 1984

Perkiraan harga-harga konsistensi tanah berdasarkan nilai UCS (*Unconfined Compressive Strength*) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Hubungan Umum Antara Konsistensi Tanah Dengan Nilai UCS

Konsistensi	Kuat Tekan q_u (kg/cm ²)
<i>Very Soft</i>	< 0,25
<i>Soft</i>	0,25 – 0,50
<i>Medium Stiff</i>	0,50 – 1,00
<i>Stiff</i>	1,00 – 2,00
<i>Very Stiff</i>	2,00 – 4,00
<i>Hard</i>	> 4,00

Sumber : Terzaghi & Peck (1949)

Tabel 8 menjelaskan hubungan antara konsistensi tanah dengan nilai UCS, dimana nilai UCS menentukan kategori konsistensi tanah. Dari nilai UCS tanah kita juga bisa menggolongkan suatu standar nilai untuk kebutuhan konstruksi jalan, seperti yang tampak pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai UCS Untuk Kebutuhan Kontruksi Pondasi Jalan dan Bangunan

Deskripsi	UCS (kg/cm ²)
Lapis Pondasi Bawah, Dasar Urugan Untuk Parit	3,5 – 10,5
Lapis Pondasi Bawah (<i>Subbase</i>), Pondasi (<i>Base</i>) Untuk Lalu Lintas	7 - 14
Lapis Pondasi Untuk Lalu Lintas Berat, Blok-blok Bangunan (Batu-bata)	14 - 56
Perlindungan Timbunan, <i>Floodways</i>	> 56

Sumber : Hardiyatmo, (2002)

B.7. Pengujian Mikroskopik.

Uji mikroskopik dilakukan dengan menggunakan mikroskop yang derajat pembesarannya disesuaikan dengan keperluan. Menurut Tutu,

Subaer, & Usman, (2015) sampel yang diuji dapat berupa sayatan melintang, radial, paradermal maupun membujur, patahan atau berupa serbuk dan potongan. Pada uji mikroskopik penelitian ini dicari unsur – unsur

anatomi struktur dalam sampel atau seperti yang terlihat pada Gambar 4 (a) dan (b).



(a)



(b)

Gambar 4. Pengujian Mikroskopik Struktur Dalam Sampel Penelitian Tanah 100%. (a) Metode Patahan, (b) Metode Irisan. (2019)

Gambar 4. diambil dengan skala pembesaran 126 kali dari sampel berukuran (3 cm × 3 cm) dan didapat ukuran setelah pembesaran sebesar (4mm × 4 mm). Dari pengujian ini akan diketahui perubahan warna, peningkatan kadar campuran, serta bentuk struktur dari tanah 100% yang telah mengalami pemadatan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni dan bersifat laboratoris yang berfokus pada identifikasi homogenitas campuran antara tanah, semen, *fly ash* dan *bottom ash* dengan 2 metode pengambilan sampel yaitu patahan dan irisan. Pengujian ini dilakukan setelah sampel

mengalami gangguan atau telah mengalami gangguan. Pengujian ini dilakukan setelah dilakukan pengujian mekanis pada sampel, sehingga pada penelitian ini bukan bertujuan untuk melihat kualitas sampel namun untuk melihat homogenitas campuran.

C. METODOLOGI

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.

C.1. Jenis Pengujian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)
2. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)
3. Pengujian Pemadatan Proktor (*Standart Proctor*)
4. Pengujian Mikroskope Digital SUNSHINE DM-1000S

C.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlengkapan alat pengujian berat jenis.
2. Perlengkapan alat pengujian UCS.
3. Perlengkapan alat pengujian *Standart Proctor*.
4. Perlengkapan alat pengujian mikroskop
5. Timbangan, dan perlengkapan lainnya

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tanah Lempung Plastisitas Tinggi (CH) yang didapat dari Desa Muara Fajar.
2. Semen PCC (*Portland Composite Cement*).
3. Limbah Batubara (BAFA), *bottom ash* dan *fly ash* yang didapat dari PT. Indah Kiat *Pulp and Paper*.

C.3. Variasi Sampel

Variasi jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa :

1. Jenis sampel I : 100 % Tanah (0 Hari Pemeraman)
2. Jenis sampel V : 3% PCC+4%, 8%, 12%, 16% *Bottom Ash + Fly Ash* (0 Hari Pemeraman)
3. Jenis sampel VI : 3% PCC+4%, 8%, 12%, 16% *Bottom Ash + Fly Ash* (7 Hari Pemeraman)
4. Jenis sampel VII : 3% PCC+4%, 8%, 12%, 16% *Bottom Ash + Fly Ash* (28 Hari Pemeraman)
5. Jenis sampel II : 5% PCC+4%, 8%, 12%, 16% *Bottom Ash + Fly Ash* (0 Hari Pemeraman)
6. Jenis sampel III : 5% PCC+4%, 8%, 12%, 16% *Bottom Ash + Fly Ash* (7 Hari Pemeraman)
7. Jenis sampel IV : 5% PCC+4%, 8%, 12%, 16% *Bottom Ash + Fly Ash* (28 Hari Pemeraman)

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

C.4. Persiapan Benda Uji

Persiapan benda uji yang baik dilakukan agar menjaga kualitas hasil pengujian. Salah satu contohnya adalah menjaga setiap benda uji berada pada berat kering atau kondisi kering. Kondisi tersebut membuat perhitungan kadar presentase yang direncanakan pada setiap sampel lebih akurat. Berikut beberapa persiapan benda uji yang dilakukan pada penelitian ini:

C.4.1. Tanah

Persiapan sampel tanah dilakukan dimulai saat pengeringan ringan dengan menjemur sampel tanah di bawah sinar matahari. Tujuannya adalah mengurangi beban pengeringan saat dimasukkan kedalam oven untuk mendapatkan sampel tanah dalam kondisi kering atau mendekati kadar air 0%. Sampel tanah pada pengeringan ringan ini masih berbentuk bongkahan kecil yang selanjutnya ditumbuk – tumbuk menjadi bagian yang lebih kacil lagi sehingga dapat untuk disaring dengan saringan nomor 4 (4.750 mm). Setelah mendapatkan sampel tanah yang lolos saringan No.4, tanah kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam yang bertujuan untuk pengeringan total

hingga sampel tanah dalam kondisi kering.

Tanah kemudian ditimbang untuk mengkalkulasi kecukupan jumlah yang dibutuhkan untuk membuat sampel uji, setelah penimbangan selesai maka sampel tanah dimasukkan kedalam wadah plastik dan disimpan pada kondisi kedap udara. Tujuan disimpannya tanah didalam wadah plastik bertujuan untuk menjauhkan sampel tanah dari interaksi udara yang dapat mempengaruhi kadar air tanah 0% yang telah didapat.

C.4.2. *Bottom ash* dan *Fly ash*

Sama halnya dengan sampel tanah, *bottom ash* dan *fly ash* yang akan digunakan haruslah dalam kondisi kering dengan kadar air mendekati 0%. Berbeda dengan sampel tanah, *bottom ash* yang direncanakan melewati tahap penyaringan dengan syarat lolos saringan nomor 60 (0,250 mm) dan tertahan saringan nomor 80 (0,180 mm) dan *fly ash* lolos saringan nomor 200 (0,075 mm). Sampel yang telah disaring kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam.

Sama halnya dengan sampel tanah, *bottom ash* dan *fly ash* yang telah dalam kondisi kadar air 0% kemudian dimasukkan kedalam wadah plastik dengan tujuan yang sama dengan sampel tanah. Sampel yang telah disaring dikumpulkan pada wadah yang kedap air agar menjaga sampel dalam kondisi kering. Presentase penggunaan kedua material ini adalah 4%, 8%, 12%, dan 16% dari berat kering tanah, dan komposisi perbandingan *bottom ash* dan

fly ash adalah 2:1 dari setiap jenis presentase yang digunakan.

Misalkan 4% campuran *bottom ash* dan *fly ash* dari 800 gram tanah adalah 32 gram, maka *bottom ash* 2/3 dari 4% sedangkan *fly ash* adalah 1/3 dari 4%, dan didapat berat *bottom ash* 21,33 gram sedangkan *fly ash* 10,67 gram. Penyaringan *bottom ash* dan *fly ash* dapat lihat pada Gambar 5 (a) dan (b).



(a) Penyaringan *Bottom Ash*



(b) Penyaringan *Fly Ash*

Gambar 5 Penyaringan Material BAFA, *Bottom Ash* (a) dan *Fly Ash* (b)

C.5. Pelaksanaan Pengujian

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

1. Berat Jenis (*Spesific Gravity*).
2. Pengujian *Standart Proctor*
3. Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*).
4. Pengujian Mikroskopik Sampel

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1. Hasil Pengujian Propertis Tanah Lempung (CH)

Data-data yang diperoleh yaitu berat jenis, berat volume kering tanah, kadar air optimum, dan sebagainya. Rekapitulasi hasil pengujian propertis tanah dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian Propertis Tanah.

No.	Deskripsi Pengujian	Hasil
1.	<i>Spesific Gravity</i>	2,61
2.	<i>Standart Proctor</i>	
	a. OMC	32,25 %
	b. γ dry	1,382 gram/cm ³

D.2. Hasil Pengujian Propertis

BAFA (*Bottom ash dan Fly ash*)

Data-data pengujian propertis *bottom ash* dan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pengujian Propertis *Bottom Ash dan Fly Ash*

No.	Deskripsi Pengujian	<i>Bottom Ash</i>	<i>Fly Ash</i>
1	<i>Spesific Gravity</i>	2,54	2,43
2	Berat Volume	1,17 gr/cm ³	0,75 gr/cm ³
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* menunjukkan nilai yang pada umumnya didapat pada kedua material tersebut, seperti nilai GS (*Specific Grafity*) BAFA yang telah dijelaskan pada Tabel 11.

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*.

D.3. Hasil Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*)

Pengujian UCS dilakukan untuk memperoleh nilai Kadar Air (%), Berat Volume Kering, γ dry (gram/cm³), nilai Kuat Tekan Tanah (qu), dan nilai Kuat Geser Tanah Tidak Teralirkan (Cu). Pengujian UCS dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan BAFA dan semen terhadap nilai kuat tekan (qu) dan nilai kuat geser tak teralirkan (Cu) pada kondisi kadar air awal 50% dari berat kering tanah asli kemudian dilakukan pemeraman didalam desikator selama 0 hari, 7 hari, dan 28 hari.

D.3.1. Kadar Air UCS Sampel Campuran

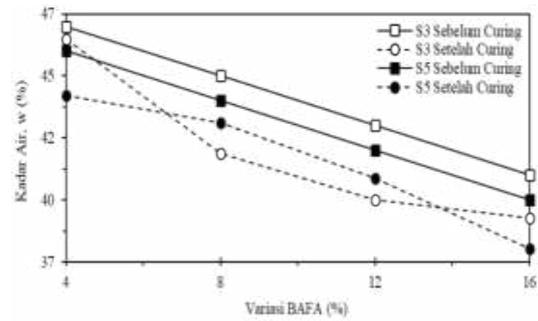
Kadar air (%) pada sampel UCS Tanah Asli dan Campuran merupakan salah satu elemen penting dalam pengaruhnya terhadap γ dry sampel. Berikut hasil kadar air sampel UCS seperti yang terlihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Kadar Air Sampel UCS Campuran

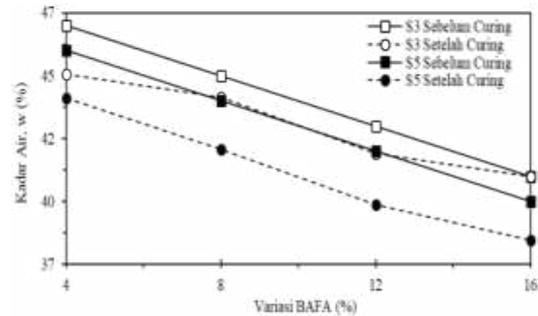
Jenis Sampel	Persentase Penurunan Kadar air	
	Semen 3%	Semen 5%
A	50,00	50,00
B4-C0	43,70	45,98
B8-C0	42,61	41,38
B12-C0	40,37	39,52
B16-C0	37,54	38,78
B4-C7	43,59	44,57
B8-C7	41,58	43,63
B12-C7	39,37	41,42
B16-C7	39,23	40,48
B4-C28	42,55	45,42
B8-C28	40,85	43,53
B12-C28	40,54	41,40
B16-C28	37,81	39,07

Tabel 12 menjelaskan perubahan nilai kadar air (%) sampel UCS tanah asli terhadap sampel UCS campuran mengalami penurunan kadar air. Penurunan kadar air secara konstan menurun dari kadar semen dan BAFA tertinggi ke terendah serta waktu *Curing* 0 hari ke waktu *Curing* 28 hari.

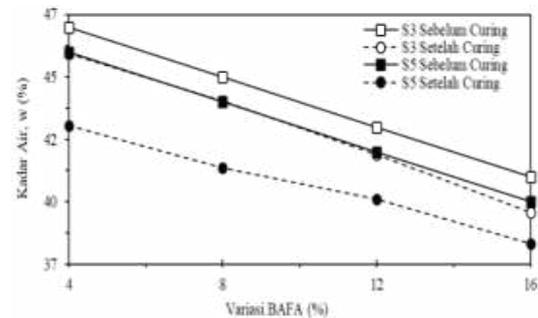
Hal ini bisa terjadi dikarenakan reaksi sampel saat curing 7 hari dan 28 hari memiliki persentase komposisi Semen dan BAFA yang saling bersinggungan. Hasil yang didapat menjelaskan bahwa kadar air setelah *Curing* pada setiap variasi memiliki *tren* penurunan kadar air yang masih acak, seperti yang terlihat pada Gambar 6, 7, dan Gambar 8.



Gambar 6 Kadar Air UCS Campuran S3 dan S5 *Curing* 0 Hari.



Gambar 7 Kadar Air UCS Campuran S3 dan S5 *Curing* 7 Hari.



Gambar 8 Kadar Air UCS Campuran S3 dan S5 *Curing* 28 Hari.

Gambar 6, 7 dan Gambar 8 menjelaskan adanya persentase penurunan kadar air sampel UCS terbesar terdapat pada sampel A-S3-B12-C0 sebesar 7,02% dan persentase penurunan terendah terdapat pada sampel A-S3-B16-C7 sebesar 0,06%. Keseluruhan penurunan nilai kadar air sampel UCS S3 dan S5 dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Persentase Penurunan Kadar Air UCS Tanah Asli dan Campuran

Variasi Sampel	Persentase Penurunan Kadar Air (%)	
	S3	S5
	A	0,00
B4 - C0	-1,11	-3,95
B8 - C0	-7,01	-2,05
B12 - C0	-7,02	-2,73
B16 - C0	-4,25	-4,97
B4 - C7	-4,16	-4,19
B8 - C7	-1,96	-4,42
B12 - C7	-2,54	-5,14
B16 - C7	-0,06	-3,92
B4 - C28	-2,33	-6,47
B8 - C28	-2,18	-6,08
B12 - C28	-2,58	-4,58
B16 - C28	-3,54	-4,27

Keseluruhan hasil yang didapat menjelaskan penurunan kadar air masih bersifat acak namun dilihat secara umum penurunan terbesar berada pada sampel UCS dengan kadar semen 3% (S3) dikarenakan sesaat setelah mencampur keadaan sampel masih dalam kondisi basah sehingga penurunannya secara umum lebih besar dari sampel dengan kadar semen 5% (S5).

D.3.2. Hasil Nilai Cu dan qu UCS Sampel Campuran

Berikut hasil pengujian UCS, nilai kuat geser tanah (Cu) dan kuat tekan tanah (qu), seperti yang terlihat pada Tabel 14 dan Tabel 15

Tabel 14. Nilai Cu Pengujian UCS

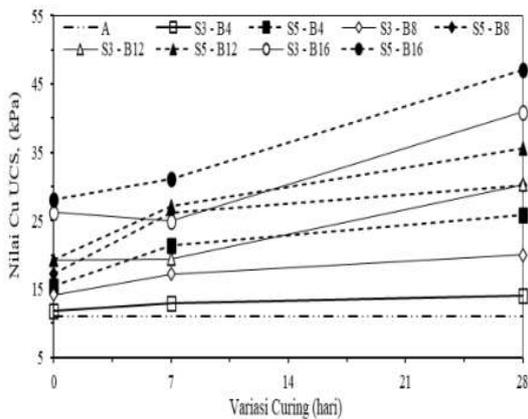
Jenis Sampel	Kuat Geser Tanah Cu Umur Pemeraman (kPa)		
	(C0)	(C7)	(C28)
	A (Tanah Asli)	11,02	
S3 - B4	11,81	12,92	14,08
S3 - B8	14,15	17,23	19,96
S3 - B12	19,30	19,46	30,30
S3 - B16	26,25	24,97	40,88
S5 - B4	15,53	21,32	25,92
S5 - B8	17,17	26,21	30,18
S5 - B12	19,38	27,10	35,57
S5 - B16	28,08	31,05	47,02

Tabel 15. Nilai qu Pengujian UCS

Jenis Sampel	Kuat Tekan Tanah qu Umur Pemeraman (kPa)		
	(C0)	(C7)	(C28)
	A (Tanah Asli)	22,04	
S3 - B4	23,63	25,83	28,17
S3 - B8	28,31	34,46	39,93
S3 - B12	38,60	38,92	60,59
S3 - B16	52,50	49,94	81,76
S5 - B4	31,06	42,64	51,84
S5 - B8	34,33	52,42	60,37
S5 - B12	38,76	54,20	71,13
S5 - B16	56,16	62,10	94,04

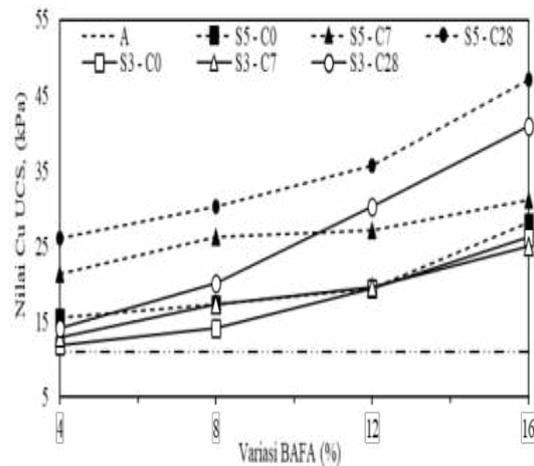
D.3.3. Perbandingan Nilai UCS Variasi BAFA Terhadap Curing

Nilai Cu setiap sampel UCS jika dibandingkan dengan tanah asli dan Digambar dalam bentuk diagram garis maka akan tampak pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Pengaruh Curing Terhadap Nilai Cu UCS

Gambar 9 menjelaskan pengaruh *Curing* sangat dalam reaksi campuran. Keseluruhan hasil kenaikan setiap variasi tersebut memiliki regangan yang berbeda-beda dan berkaitan dengan lama *Curing* sampel. Hal ini berkaitan dengan reaksi BAFA dan semen terhadap campuran tanah. Jika lama hari *Curing* hanya sebentar maka reaksi campuran belum maksimal sehingga sifat plastis campuran masih seperti tanah asli dan regangan terhadap tekanan semakin panjang namun nilai (qu) rendah, begitu pula sebaliknya jika hari *Curing* lebih lama maka reaksi campuran lebih maksimal. Hasil yang didapat dirangkum setiap perubahan yang sejenis variasinya maupun kombinasi antara beberapa variasi agar terlihat perubahan yang paling berpengaruh terhadap sifat kenaikan nilai Cu UCS pada sampel yang telah diuji. Perlakuan yang sama dilakukan pada setiap sampel yang memiliki pengaruh lebih besar maupun sebaliknya, setelahnya penarikan kesimpulan pengujian pun dapat dilakukan.

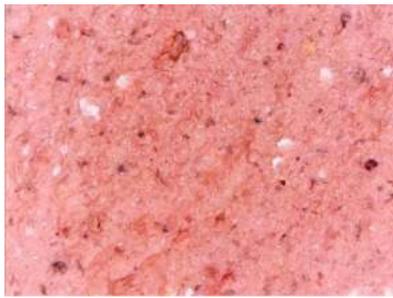


Gambar 10. Pengaruh BAFA Terhadap Nilai Cu UCS

Gambar 10 Secara umum menjelaskan bahwa perubahan nilai Cu yang cukup signifikan terjadi pada semen 3% (S3) ditambah BAFA 8% (B8) menuju BAFA 16% (B16), sementara dari BAFA 4% (B4) menuju BAFA 8% terjadi perubahan nilai yang tidak signifikan. Perubahan nilai pada variasi semen 5% dan BAFA 12% menuju BAFA 16% di hari *curing* 28 hari menjadi yang terbesar pada variasi tersebut.

D.4. Hasil Pengujian Mikroskopik Tanah Asli

Keseluruhan gambar sampel yang diperoleh mempunyai hubungan dengan beberapa parameter nilai yang mempengaruhinya, seperti pengaruh penambahan kadar BAFA, kadar Semen, dan Pengaruh masa *Curing*. Berikut pembahasan hasil gambar pengujian mikroskopik bagian dalam sampel dengan metode Patahan dan Irisan pada sampel yang diambil gambarnya, seperti yang terlihat pada Gambar 11 (a) irisan dan (b) patahan.



(a) Metode Irisan



(b) Metode Patahan

Gambar 11 Pengujian Mikroskopik Sampel Tanah Asli (A) *Curing* 0 Hari

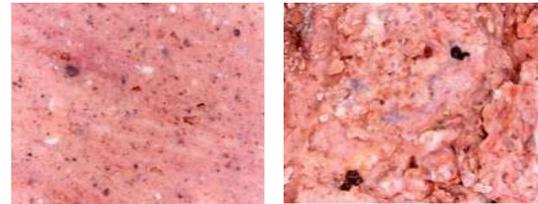
Adapun parameter hasil berbagai pengujian untuk Gambar 11 sebagai berikut: Nilai q_u UCS = 22.04 kPa, dan mengalami *Curing* 0 Hari. Nilai-nilai tersebut menjadi acuan dalam melihat perubahan pada gambar hasil mikroskopik sampel campuran BAFA dan Semen. Metode irisan mempunyai karakteristik butiran lempung yang banyak dan warna merah muda cerah seperti warna asli tanah lempung pada umumnya dan akan semakin terlihat pucat saat adanya penambahan BAFA dan Semen. Terlihat juga pada gambar bahwa butiran tanah terlihat rapat dan merekat namun mempunyai sedikit rongga pori pada permukaannya. Metode patahan menjelaskan adanya garis patahan, menandakan garis tersebut merupakan bidang miring (geser) dari keretakan sampel saat patahan dilakukan. Perubahan pada

gambar dengan penambahan semen 3% dan dimulai pada kadar BAFA 4%, *Curing* 0 hari, 7 hari, dan 28 hari, seperti.

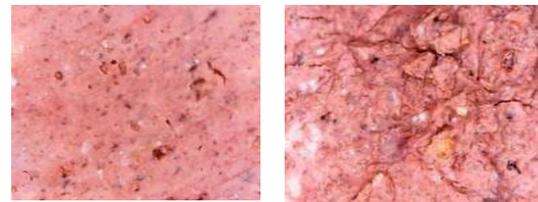
D.5. Hasil Pengujian Mikroskopik Sampel Semen 3% dan BAFA.

Berikut hasil gambar mikroskopik setiap sampel variasi semen 3% dan BAFA 4%, 8%, 12%, dan 16% yang telah mengalami masa curing 0,7 dan 28 hari, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 12.

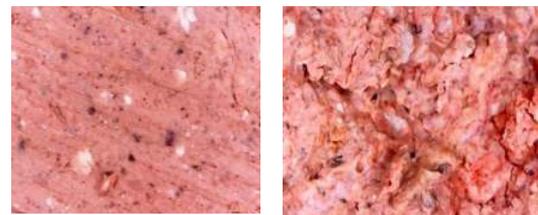
1.) Semen 3% (S3) + BAFA 4% (B4).



Metode Irisan Metode Patahan
(a) *Curing* 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(b) *Curing* 7 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(c) *Curing* 28 Hari

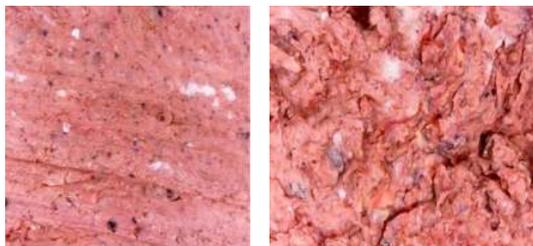
Gambar 12. Semen 3% (S3) + BAFA 4% (B4).

Hasil gambar di atas menjelaskan adanya peningkatan warna yang mulai memucat dari warna kelemungannya dan adanya bintik-bintik hitam pada sampel yang merupakan butiran-butiran

dari *bottom ash* yang sebelumnya tidak ada pada sampel tanah asli. Gambar juga menjelaskan peningkatan warna yang mulai memucat karena adanya reaksi campuran dengan tanah lempung.

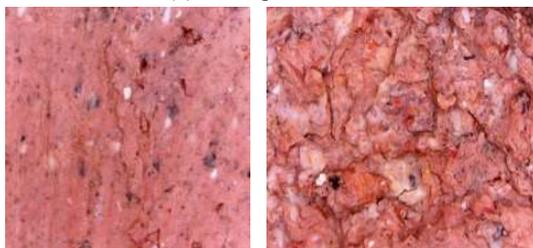
Parameter kenaikan nilai pengujian terlihat naik dari sampel A, diantaranya nilai $q_u=23,63$ kPa pada *curing* 28 hari. Penjelasan yang sama terdapat pada variasi BAFA berikutnya seperti yang tampak pada Gambar 13, 14, dan 15.

2.) Semen 3% (S3) + BAFA 8% (B8).



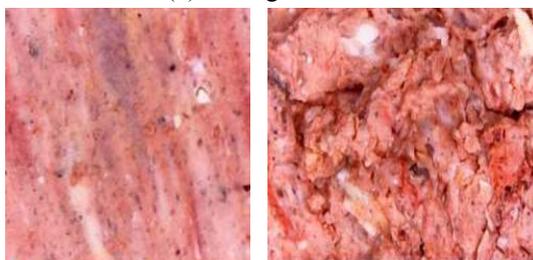
Metode Irisan Metode Patahan

(a) Curing 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan

(b) Curing 7 Hari

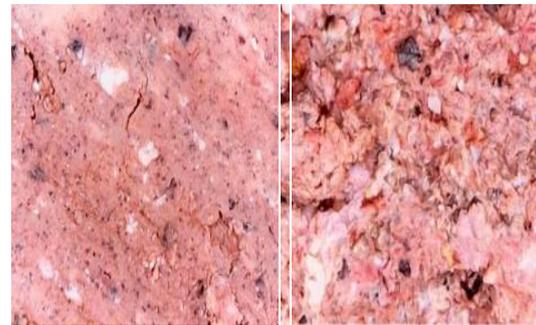


Metode Irisan Metode Patahan

(c) Curing 28 Hari

Gambar 13. Semen 3% (S3) + BAFA 4% (B8).

3.) Semen 3% (S3) + BAFA 12% (B12).



Metode Irisan Metode Patahan

(a) Curing 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan

(b) Curing 7 Hari



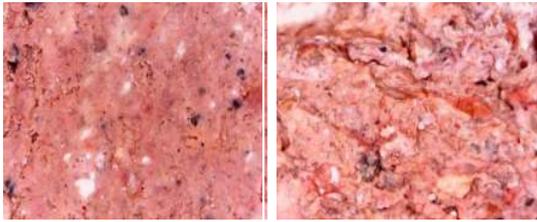
Metode Irisan Metode Patahan

(c) Curing 28 Hari

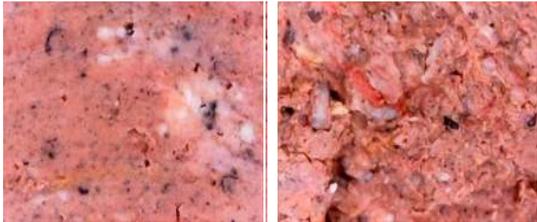
Gambar 14. Semen 3% (S3) + BAFA 12% (B12).

Penambahan semen 3% terhadap variasi campuran membuat warna sampel mulai mengalami perubahan yang semakin pucat namun terlihat berbintik seiring bertambahnya kadar limbah BAFA

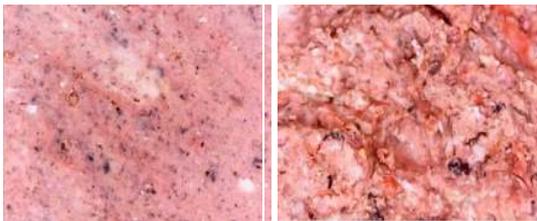
4.) Semen 3% (S3) + BAFA 12% (B12).



Metode Irisan Metode Patahan
(a) Curing 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(b) Curing 7 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(c) Curing 28 Hari

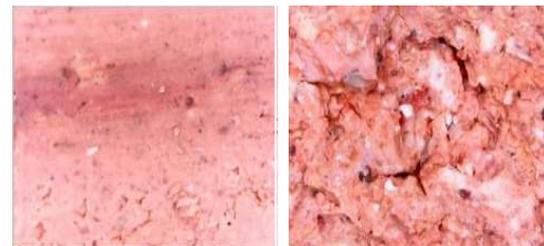
Gambar 15. Semen 3% (S3) + BAFA 16% (B16).

Keseluruhan nilai yang didapat mejelaskan semakin mulai memucat sampel dan semakin banyak butiran hitam yang terjadi maka akan meningkatkan nilai UCS, dan CBR yang menandakan sampel semakin getas sehingga nilai PI menurun. Gambar yang dihasilkan menunjukkan warna jingga cerah dari lempung yang masih terlihat dan masih terlihat pada kenaikan kadar BAFA dan semen.

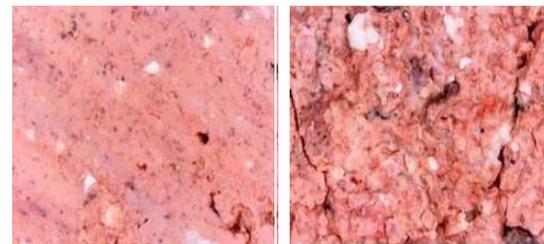
D.6. Hasil Pengujian Mikroskopik Sampel Semen 5% dan BAFA.

1.) Semen 5% (S5) + BAFA 4% (B4).

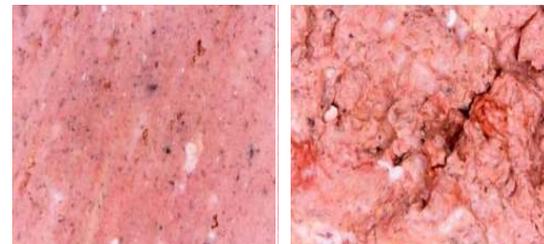
Sampel variasi semen 5% memperlihatkan butiran hitam semakin banyak serta adanya butiran pasir yang terbawa saat pencampuran BAFA. Permukaan metode irisan sampel terlihat lebih merekat antar butiran namun saat metode patahan rekatan antar butiran menimbulkan gumpalan-gumpalan reaksi lempung dengan campuran yang terlihat sangat getas namun pada permukaan terlihat lebih halus. Berikut parameter nilai pengujian sampel variasi S5 kadar B4 dengan nilai $q_u = 94.04$ kPa, seperti yang tampak pada Gambar 16.



Metode Irisan Metode Patahan
(a) Curing 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(b) Curing 7 Hari

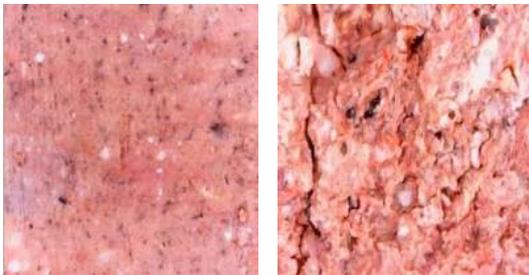


Metode Irisan Metode Patahan
(c) Curing 28 Hari

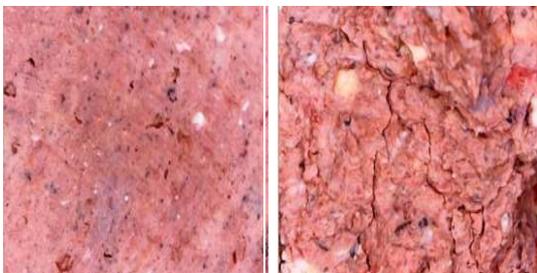
Gambar 16. Semen 5% (S3) + BAFA 4% (B4).

Penjelasan dari Gambar 16 yaitu setiap perubahan nilai UCS mengikuti perubahan struktur mikroskopik sampel. Semakin tinggi kadar BAFA dan lama *curing* maka hasil gambar mikroskopik sampel tersebut semakin memucat, dan begitupun sebaliknya. Analisa serupa dapat diterapkan pada kadar BAFA selanjutnya, seperti yang tampak pada Gambar 17, 18, dan gambar 19.

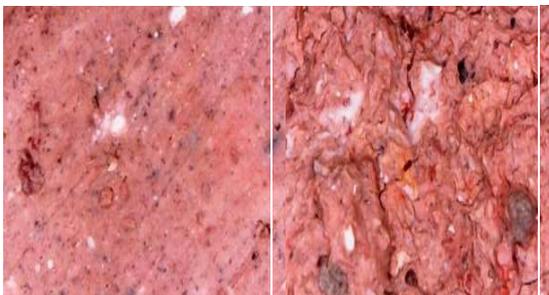
2.) Semen 5% (S5) + BAFA 8% (B8).



Metode Irisan Metode Patahan
(a) Curing 0 Hari



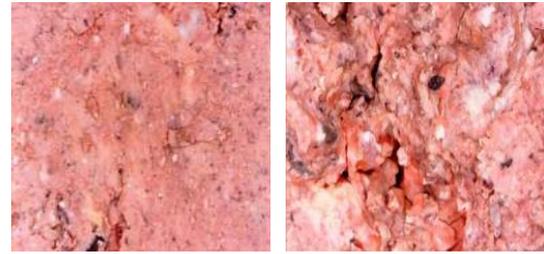
Metode Irisan Metode Patahan
(b) Curing 7 Hari



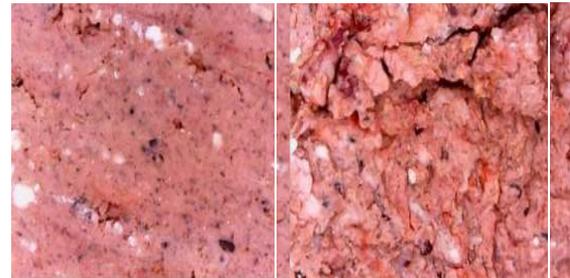
Metode Irisan Metode Patahan
(c) Curing 28 Hari

Gambar 17. Semen 5% (S3) + BAFA 8% (B8).

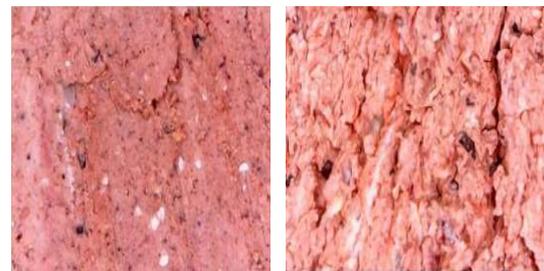
3.) Semen 5% (S5) + BAFA 12% (B12).



Metode Irisan Metode Patahan
(a) Curing 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(b) Curing 7 Hari



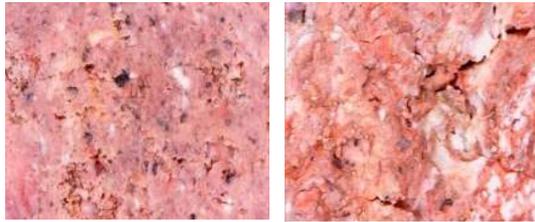
Metode Irisan Metode Patahan
(c) Curing 28 Hari

Gambar 18. Semen 5% (S5) + BAFA 12% (B12).

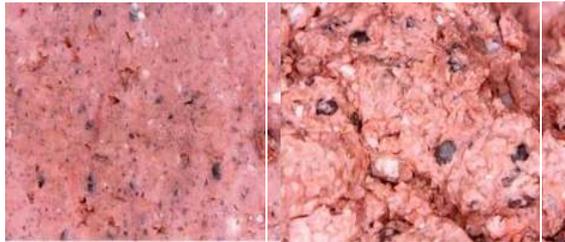
Penjelasan dari Gambar 18 yaitu perubahan dari segi warna, tekstur permukaan sampel yang terjadi dikarenakan penambahan kadar semen dan limbah BAFA serta telah mengalami beberapa variasi pemeraman.

Perubahan ini hamper mengalami puncaknya jika adanya penambahan kadar BAFA lagi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 19.

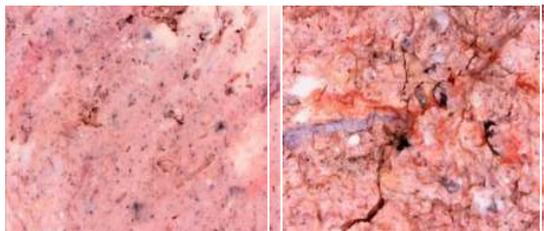
4.) Semen 5% (S5) + BAFA 16% (B16).



Metode Irisan Metode Patahan
(a) Curing 0 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(b) Curing 7 Hari



Metode Irisan Metode Patahan
(c) Curing 28 Hari

Gambar 19. Semen 5% (S5) + BAFA 16% (B16).

E. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian bahwa penambahan semen dan BAFA pada stabilisasi tanah lunak plastisitas tinggi dapat meningkatkan kuat tekan bebas (C_u) dan nilai kuat tekan (q_u). Peningkatan nilai tersebut mengakibatkan peningkatan nilai E_{50} atau meningkatkan kekakuan sampel UCS. Peningkatan nilai UCS yang paling besar terjadi pada tanah dengan semen 5% dan BAFA 16% dengan *Curing* 28 hari.

Peningkatan nilai q_u pada sampel UCS terbesar pada variasi sampel A-S5-B16-C28 dengan nilai 94.79 kPa, peningkatan ini sebesar 76,57% jika dibandingkan dengan nilai q_u A sebesar 22.04 kPa.

2. Berdasarkan pengujian mikroskopik sampel CBR dan UCS maka dapat dilihat semakin tinggi kadar BAFA dan Semen maka perubahan struktur sampel semakin terlihat lebih kasar dan pucat. Begitu juga sebaliknya pada kadar BAFA yang paling kecil dan kadar semen yang paling kecil membuat struktur sampel lebih halus dan warna sampel lebih terang mendekati warna asli sampel Tanah Asli (A).

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*.
- Ekawati, A., Muhandi, & Fatnanta, F. (2016). Perbaikan Tanah Lunak dengan Metoda Kolom dari Campuran Fly Ash dan Bottom Ash. *Jurnal Fakultas Teknik*

- Universitas Pasir Pengaraian, (1), 1–9.
- ESDM, K. (2019). *Laporan Kerja Kementrian ESDM*. (Vol. 53, pp. 1689–1699).
- Gobel, C. Van. (2018). *Penggunaan batubara pada PLTU Pelita menghasilkan sekitar 1, 2 juta ton atau 3 . 500 ton per hari partikel abu batubara*.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1. Buku*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Maharani, & Muhandi. (2011). *Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik*. Jurnal Penelitian
- Mulyawan, S., Program, D., Teknik, S., Fakultas, S., Universitas, T., Khaldun, I., Khaldun, I. (2013). *STUDI PENAMBAHAN ABU BATUBARA SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN 2 . 1 Tinjauan Struktur Perkerasan Jalan*. 7(KoNTekS 7), 24–26.
- Nainggolan, A. S., & Muhandi. (2012). *Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik*. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 8.
- PP N0 85 Tahun 1999. (1999). *Peraturan Pemerintah No . 85 Tahun 1999 Tentang : Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No . 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan*
- 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).
- Terzaghi & Peck, T. J. O. G. (1949).

Soil Mechanics in Engineering Practice . Karl Terzaghi , Ralph B. Peck. In *The Journal of Geology*.