

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* UNTUK STABILISASI TANAH DASAR

M. Jazir Alkas¹⁾, Tiopan H. M. Gultom²⁾, Muhammad Sopian³⁾

- ¹⁾ Pengajar Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda
e-mail: mjalkaz@gmail.com
- ²⁾ Pengajar Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda
e-mail: tiopanhmg@gmail.com
- ³⁾ Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Kampus
e-mail: muhammadsopian126@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung di wilayah dataran pantai Indonesia, seperti di Desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak, sering menjadi kendala dalam pembangunan infrastruktur karena sifat fisik dan mekanisnya yang buruk. Tanah di daerah ini termasuk subkelompok A-7-5 menurut klasifikasi AASHTO, dengan kadar air tinggi dan indeks plastisitas besar. Penelitian ini bertujuan memperbaiki sifat tanah melalui penambahan *fly ash* sebanyak 7,5%; 10%; 12,5%; 15%; 17,5%; 20%; 22,5%; 25%. Hasil menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* menurunkan kadar air, berat jenis, dan indeks plastisitas, serta meningkatkan kepadatan tanah. Pengujian *proctor modified* menunjukkan nilai MDD tertinggi sebesar 1,587 gr/cm³ dan OMC sebesar 21,50% pada kadar *fly ash* 17,5%. Nilai CBR juga meningkat, dengan hasil optimal pada 17,5% *fly ash*, yaitu 27,59% (*unsoaked*) dan 3,68% (*soaked*). Namun, nilai CBR *soaked* masih belum memenuhi spesifikasi minimum sebesar 6%.

Kata Kunci: Tanah Lempung, *Fly ash*, *Proctor Modified*, CBR

ABSTRACT

Clay soils in coastal plain areas of Indonesia, such as in Tanjung Limau Village, Muara Badak Sub-district, are often a constraint in infrastructure development due to their poor physical and mechanical properties. The soil in this area belongs to subgroup A-7-5 according to AASHTO classification, with high moisture content and large plasticity index. This study aims to improve soil properties through the addition of fly ash as much as 7.5%; 10%; 12.5%; 15%; 17.5%; 20%; 22.5%; 25%. The results showed that the addition of fly ash decreased water content, specific gravity, and plasticity index, and increased soil density. Proctor modified test showed the highest MDD value of 1.587 gr/cm³ and OMC of 21.50% at 17.5% fly ash content. CBR values also increased, with optimal results at 17.5% fly ash, namely 27.59% (*unsoaked*) and 3.68% (*soaked*). However, the soaked CBR value still does not meet the minimum specification of 6%.

Keywords: Clay, *Fly ash*, *Proctor Modified*, CBR

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penyebaran tanah lunak di Indonesia diperkirakan mencapai 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan. Tanah lunak umumnya terdiri dari lempung yang banyak dijumpai di daerah dataran pantai, seperti Pantai Barat – Selatan Pulau Kalimantan. Sifat tanah lempung meliputi konsistensi lunak hingga sangat lunak, kadar air yang tinggi, gaya geser kecil, kemampuan besar, daya dukung rendah, serta tingkat penurunan yang

signifikan. Karakteristik ini sering kali menimbulkan permasalahan dalam pembangunan infrastruktur dan penataan ruang akibat rendahnya daya dukung tanah (Wardoyo dkk., 2019).

Salah satu wilayah yang memiliki tanah lempung lunak adalah Desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara. Wilayah ini memiliki aktivitas masyarakat yang padat dengan berbagai kegiatan ekonomi dan sosial. Desa Tanjung Limau memiliki potensi wisata pantai yang semakin berkembang, adanya

pembangunan rumah sakit yang sedang berlangsung, serta telah berdiri berbagai fasilitas pendidikan seperti sekolah, yang semakin meningkatkan kebutuhan terhadap infrastruktur jalan untuk mendukung mobilisasi masyarakat dan memastikan keberlanjutan pembangunan daerah.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah dasar (*subgrade*) adalah stabilisasi tanah dengan bahan tambahan seperti *fly ash*, semen, atau kapur. *Fly ash* sendiri mengandung mineral seperti Silika (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), dan Kalsium Oksida (CaO), yang dapat meningkatkan kepadatan, kekuatan, serta ketahanan tanah terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan *fly ash* terhadap sifat fisik dan mekanis tanah di Desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak agar material yang tersedia di lokasi dapat dimanfaatkan sebagai *subgrade* yang stabil dan berkinerja baik dalam mendukung pembangunan infrastruktur jalan.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui jenis tanah di desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak yang menjadi sampel meliputi sifat fisik dan kimianya.
2. Mendapatkan hasil dari uji mekanis pada tanah asli.
3. Menganalisis pengaruh *fly ash* terhadap sifat fisik tanah di Desa Tanjung Limau.
4. Menganalisis pengaruh *fly ash* terhadap sifat mekanis tanah di Desa Tanjung Limau.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Tanah Lempung

Tanah lempung didefinisikan sebagai tanah yang tersusun oleh kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter lebih kecil 0,002 mm. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan (Hardiyatmo, 2012).

2.2. Fly ash

Berdasarkan ASTM D5239 (1998), manfaat menambahkan *fly ash* ke tanah berbutir halus

adalah untuk memperbaiki sifat pozzolan dan tekstur tanah menjadi lebih baik.

Fly ash kelas C biasanya dihasilkan dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous selain memiliki sifat pozzolan, juga memiliki sifat self-cementing (kemampuan untuk menggeras dan menambah kekuatan ketika bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur (SNI 2460:2014)

2.3. Klasifikasi Tanah

Hardiyatmo (2012) menjelaskan, bahwa klasifikasi tanah secara keseluruhan berdasarkan pada ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saringan dan plastisitas.

2.3.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Pada Sistem USCS, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan no. 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan no. 200 (Hardiyatmo, 2012).

2.3.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah setiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*.

2.4. Pengujian Fisik

2.4.1. Kadar Air

Nilai kadar air merupakan ukuran untuk mengetahui kekuatan dan perilaku tanah, terutama tanah berbutir halus. Berbagai metode dapat digunakan untuk menentukan kadar air, salah satunya adalah metode pengeringan dengan menggunakan Persamaan 1 berikut:

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

w = kadar air (%)

w_w = berat air (gram)

w_s = berat butiran padat (gram)

2.4.2. Berat Jenis

Berat jenis butiran adalah perbandingan antara berat butiran tanah dan berat air sulingan dalam volume yang sama dan pada suhu tertentu. Berat jenis butiran dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 berikut:

$$G_s = \frac{w_1 - w_2}{(w_1 - w_2) + (w_4 - w_3)} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

G_s = berat jenis

w_1 = berat piknometer dan tanah kering (gram)

w_2 = berat piknometer (gram)

w_3 = berat piknometer, tanah dan air (gram)

w_4 = berat piknometer dan air (gram)

2.4.3. Batas-batas Atterberg

Atterberg (1911), membagi tingkat plastisitas tanah menjadi 4 tingkatan berdasarkan nilai indeks plastisitas 0-17%. Batasan ini dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Nilai Indeks Plastisitas dan Jenis Tanah

PI	Sifat	Jenis Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
<7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(sumber: Hardiyatmo, 2012)

2.4.4. Analisa Ukuran Butir

Analisis ukuran butir adalah metode untuk menentukan distribusi ukuran butir sampel tanah. Ada dua cara untuk mendistribusikan ukuran-ukuran partikel pada tanah yaitu dengan saringan (dia. > 0,075 mm) dan hidrometer (dia. < 0,075 mm).

2.5. Pengujian Kimia

2.5.1. C-Organik

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan C-Organik dalam tanah adalah metode *Walkley-Black*, yang menggunakan Persamaan 3 berikut:

$$C - \text{Organik} = \text{ppm kurva} \times \frac{ml \text{ ekstrak}}{1000} \times \frac{100}{smp} \dots\dots(3)$$

Di mana:

ppm kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko

$ml \text{ ekstrak}$ = ukuran labu ukur (ml)

100 = konversi %

smp = berat tanah yang digunakan (mg)

2.6. Pengujian Mekanis

2.6.1. Pengujian Pemadatan Tanah

Tanah pada umumnya memiliki satu nilai kadar air optimum untuk mencapai berat volume kering. Hubungan berat volume kering dengan berat volume basah dan kadar air, dinyatakan dalam Persamaan 4.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

γ_d = berat volume kering (gr/cm³)

γ_b = berat volume basah (gr/cm³)

w = kadar air (%)

2.6.2. California Bearing Ratio (CBR)

Berdasarkan Turnbull (1968) dan The Asphalt Institute (1970) diketahui kriteria umum batasan nilai CBR untuk material tanah dasar ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Umum CBR untuk Tanah Dasar

Nilai CBR (%)	Kriteria Material Tanah Dasar	
	Turnbull (1968)	The Asphalt Institute (1970)
30 - 20	<i>Very good</i>	<i>Excellent</i>
20 - 10	<i>Good to fair</i>	<i>Good</i>
10 - 5	<i>Questionable to fair</i>	<i>Medium</i>
< 5	<i>Poor</i>	<i>Poor</i>

(sumber: Turnbull, 1968 dan The Asphalt Institute, 1970)

California Bearing Ratio (CBR) adalah suatu perbandingan antara beban percobaan dengan beban standar yang dinyatakan dalam persentase (%) dan dinyatakan dengan Persamaan 5 :

$$CBR = \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

CBR = *California Bearing Ratio* (%)

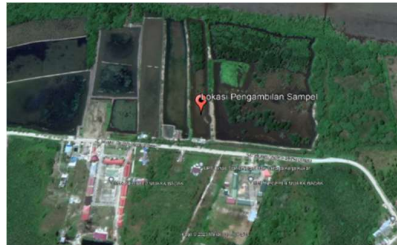
P_T = beban terkoreksi (inci)

P_s = beban standar (inci)

3. METODOLOGI

3.1. Lokasi Pengambilan Sampel

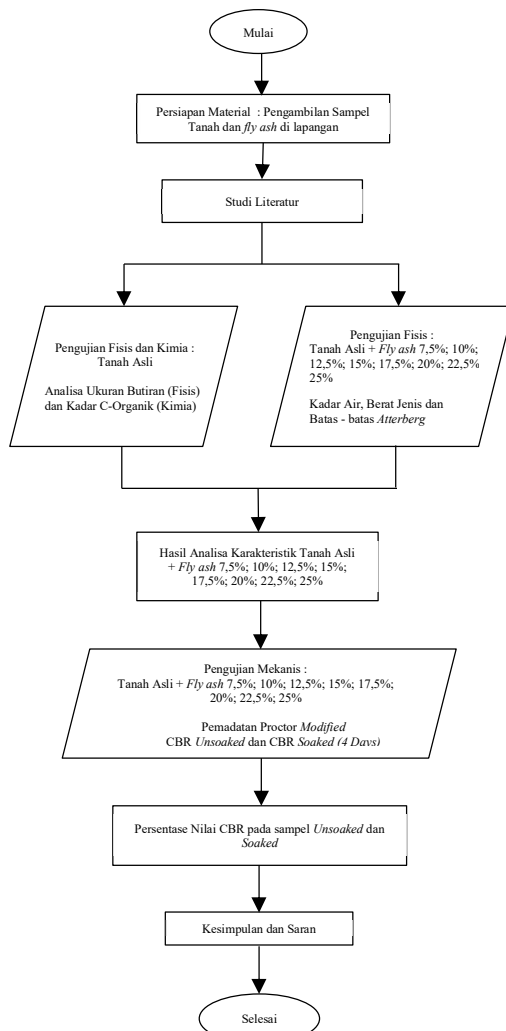
Lokasi pengambilan sampel berada di desa Tanjung limau, Kecamatan Muara Badak, Kutai Kartanegara. Adapun lokasinya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

3.2. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir penelitian pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.3. Metode Pengambilan Sampel

Penelitian ini mengambil sampel tanah secara acak pada lokasi yang berjarak sekitar 100 meter dari jalan raya. Sampel diambil pada kedalaman ± 30 cm menggunakan cangkul, kemudian dimasukkan ke dalam karung. Jenis sampel yang digunakan adalah sampel tanah terganggu (*disturbed sample*).

3.4. Metode Pengujian Sampel

Data primer diperoleh melalui pengamatan dan pengujian laboratorium lihat Tabel 3. Data sekunder berasal dari literatur serta instansi atau lembaga terkait lihat Tabel 4.

Tabel 3. Pengujian Data Primer

Jenis Pengujian	Tipe Pengujian	SNI / Metode
Pengujian Fisik	Kadar Air	SNI 1965:2008
	Berat Jenis Tanah	SNI 1964:2008
	Analisa Butiran	SNI 3423:2008
	Batas Cair	SNI 1967:2008
	Batas Plastis	SNI 1966:2008
Pengujian Kimia	C-Organik	Metode Walkley-Black
Pengujian Mekanis	Proctor Modified	SNI 1743:2008
	CBR Laboratorium	SNI 1744:2012

Tabel 4. Data Sekunder

Sumber Data	Tipe Pengujian
PT. PLN Nusantara	Pengujian Kualitas
Power UP Kaltim Teluk	FABA

Adapun variasi dan jumlah sampel yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Variasi dan Jumlah Sampel

Variasi	Jumlah Sampel		
	Proctor Modified	CBR Unsoaked	CBR Soaked
V0= Tanah Asli	5	2	2
V1= Tanah + 7,5% FA	5	2	2
V2= Tanah + 10% FA	5	2	2
V3= Tanah + 12,5% FA	5	2	2
V4= Tanah + 15% FA	5	2	2
V5= Tanah + 17,5% FA	5	2	2
V6= Tanah + 20% FA	5	2	2
V7= Tanah + 22,5% FA	5	2	2
V8= Tanah + 25% FA	5	2	2

Untuk pengujian CBR *soaked*, tanah yang telah dipadatkan kemudian direndam selama 4 hari. Setelah perendaman baru kemudian dilakukan pengujian penetrasi CBR.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Tanah Asli

Adapun hasil dari pengujian sifat fisik, kimia dan mekanis tanah asli disajikan pada Tabel 6. Yang dimana dilakukan untuk mengetahui kondisi tanah asli sebelum distabilisasi dengan *fly ash*.

Tabel 6. Karakteristik Tanah Asli

Parameter	Hasil
A. Sifat-sifat fisik dan Kimia	
Kadar air (w)	81,47%
Berat jenis (Gs)	2,479
Batas cair (LL)	56,67%

Batas plastis (PL)	39,63%
Indeks plastisitas (IP)	17,04%
Butiran lolos saringan No. 200	80,53%
C-Organik	3,71%

B. Sifat-sifat Mekanis

Kadar Air Optimum (OMC)	24,53%
Kepadatan Kering Maksimum (MDD)	1,508 gr/cm ³
CBR <i>Unsoaked</i>	18,83%
CBR <i>Soaked</i>	0,75%

4.2. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, tanah ini termasuk dalam kelompok A-7-5, yang merupakan tanah berlempung dengan kualitas sedang hingga buruk sebagai tanah dasar. Sementara itu, menurut sistem klasifikasi USCS, tanah ini tergolong sebagai lempung organik (OH) dengan plastisitas sedang hingga tinggi

4.3. Stabilisasi Tanah dengan *Fly ash*

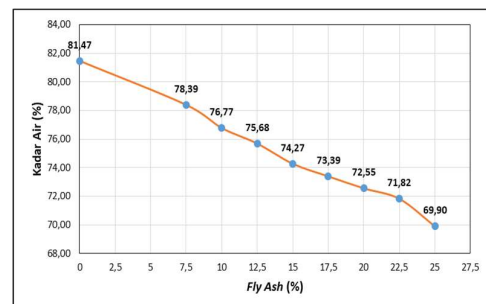
Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah setelah distabilisasi dengan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel. 7.

Tabel. 7 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah setelah di Stabilisasi dengan *Fly ash*

Pengujian	Satuan	Variasi Campuran Tanah Asli dan <i>Fly ash</i>							
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Kadar air (w)	%	78,39	76,77	75,68	74,27	73,39	72,55	71,82	69,90
Berat jenis (Gs)	-	2,422	2,393	2,372	2,354	2,335	2,313	2,290	2,266
Batas cair (LL)	%	55,39	53,76	52,95	52,46	51,55	49,92	49,26	48,42
Batas plastis (PL)	%	40,85	41,41	41,96	42,06	42,46	42,81	43,06	43,43
Indeks plastisitas (IP)	%	14,54	12,35	10,99	10,40	9,09	7,11	6,20	4,99
Kadar Air Optimum (OMC)	%	23,39	23,07	22,57	22,04	21,50	21,10	20,58	19,96
Kepadatan Kering Maksimum (MDD)	gr/cm ³	1,522	1,542	1,559	1,569	1,587	1,580	1,578	1,566
CBR <i>Unsoaked</i>	%	22,72	24,41	26,29	26,89	27,59	27,10	25,40	23,48
CBR <i>Soaked</i>	%	1,23	1,44	1,88	2,60	3,68	2,55	1,84	1,45

4.3.1. Kadar Air

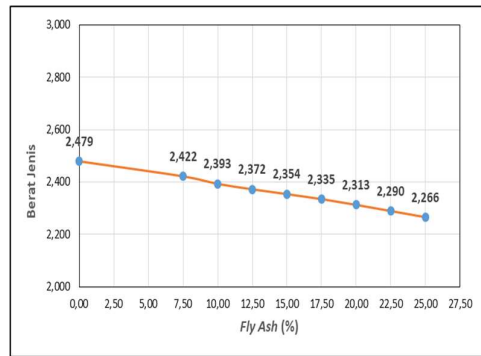
Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui bahwa kadar air dalam tanah cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash* yang dicampurkan. Kadar air tanah asli sebesar 81,47% berkurang menjadi 69,90% pada campuran *fly ash* sebanyak 25%. Hal ini terjadi karena sifat fisik *fly ash* yang dapat menyerap dan mengikat air dalam campuran.



Gambar 3. Fly ash terhadap Kadar Air

4.3.2. Berat Jenis

Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap berat jenis dapat dilihat pada Gambar 4.

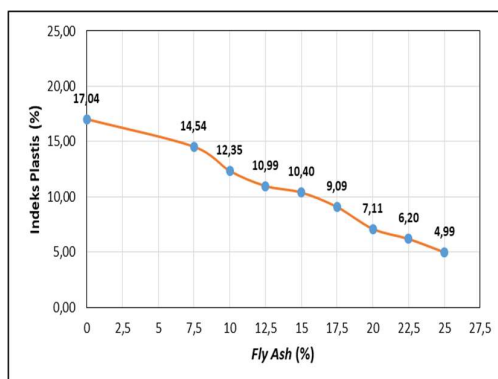


Gambar 4. Fly ash terhadap Berat Jenis

Nilai berat jenis tanah semakin menurun seiring bertambah *fly ash* yang dicampurkan pada tanah. Dimana berat jenis tanah asli sebesar 2,479 yang kemudian turun hingga 2,266 pada penambahan 25% *fly ash*. Penurunan ini terjadi karena *fly ash* memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan tanah lempung. Sehingga ketika dicampurkan, *fly ash* mengganti sebagian partikel tanah yang mengakibatkan massa total per unit volume berkurang.

4.3.3. Batas-batas Atterberg

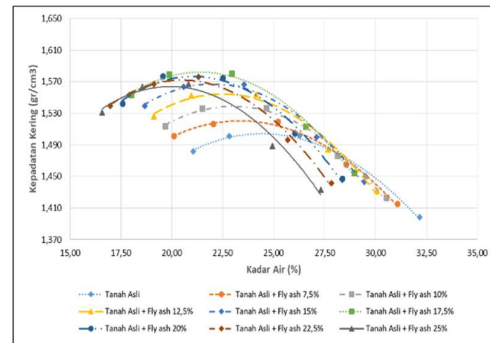
Hasil pengujian batas-batas *atterberg* menunjukkan terjadi perubahan seiring dengan penambahan variasi *fly ash* yang dimana nilai batas cair mengalami penurunan, nilai batas plastis mengalami kenaikan dan nilai indeks plastisitas mengalami penurunan. Pada *fly ash* 0%, PI sebesar 17,04% dan ketika *fly ash* mencapai 25%, PI turun drastis menjadi 4,99%. Ini menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* mengurangi kemampuan tanah untuk menunjukkan sifat plastis dan menjadi lebih kaku. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fly ash terhadap Indeks Plastisitas

4.3.4. Proctor Modified

Hasil pengujian *proctor modified* menunjukkan terjadinya penurunan nilai kadar air optimum (OMC) dan kenaikan kepadatan kering maksimum (MDD), optimalnya pada persentase *fly ash* 17,5% dengan nilai MDD sebesar 1,587 gr/cm³ dan OMC sebesar 21,50%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. dibawah ini.



Gambar 6. Hasil Pengujian Proctor Modified

Penambahan *fly ash* lebih dari 17,5% dapat mengurangi kepadatan kering maksimum karena *fly ash* memiliki sifat material yang lebih ringan dibanding tanah asli.

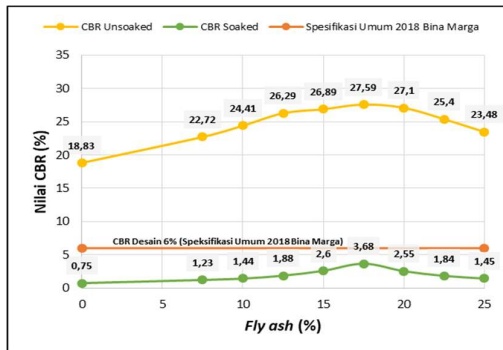
Penurunan kadar air optimum (OMC) disebabkan oleh proses hidrasi pada saat *fly ash* dicampurkan dengan tanah. Menurunnya kadar air optimum di setiap penambahan persentase *fly ash* diiringi dengan kecenderungan peningkatan pada berat kering maksimum (MDD) namun tidak signifikan sehingga pada saat penelitian didapatkan hasil yang naik turun, hal ini dikarenakan penambahan *fly ash* sebagai filler atau pengisi rongga pori tanah, yang pada kondisi tanah asli, rongga pori tersebut terisi oleh air dan udara.

4.3.5. California Bearing Ratio (CBR)

Dari dua model pengujian CBR, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai CBR seiring penambahan persentase *fly ash*. Nilai CBR mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan, dengan nilai optimal pada persentase 17,5%.

Peningkatan nilai CBR ini disebabkan oleh pengaruh penambahan *fly ash* yang memicu terjadinya reaksi *pozzolanic*. Reaksi ini meningkatkan daya ikat antar butiran tanah,

sehingga menjadikan struktur tanah lebih keras dan kaku. Kondisi tanah yang lebih padat dan kaku inilah yang menyebabkan nilai CBR hasil stabilisasi menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tanah asli.



Gambar 7. Nilai CBR *Unsoaked* dan *Soaked*

Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan bahwa syarat nilai CBR minmun untuk tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi perkerasan jalan adalah sebesar 6% atau lebih setelah direndam selama 4 hari. Meskipun nilai CBR *unsoaked* menunjukkan peningkatan yang signifikan hingga mencapai 27,59%, namun karena nilai yang digunakan dalam perencanaan adalah kondisi *soaked*, di mana hanya diperoleh sebesar 3,68%, maka tanah tersebut masih belum memenuhi syarat teknis sebagai lapisan *subgrade*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanah di Desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak, diklasifikasikan sebagai tanah lempung organik dengan kandungan bahan organik yang rendah.
2. Nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) tanah di Desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak adalah 24,53%, dengan nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,508 gr/cm³. Nilai CBR *unsoaked* adalah 18,83%, sedangkan nilai CBR *soaked* hanya sebesar 0,75%.
3. Penambahan *fly ash* pada tanah lempung dari Desa Tanjung Limau, Kecamatan

Muara Badak menyebabkan penurunan indeks plastisitas. Artinya campuran menjadi kurang plastis.

4. Penambahan *fly ash* meningkatkan MDD dan nilai CBR dengan nilai optimal terjadi pada variasi *fly ash* 17,5%, namun bila ditambahkan *fly ash* lebih dari 17,5% akan menurunkan MDD dan nilai CBR.
5. *Fly ash* tidak dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah di Desa Tanjung Limau, Kecamatan Muara Badak, untuk *subgrade* karena tidak memenuhi syarat yang ditetapkan.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dapat dilakukan penelitian selanjutnya untuk meneliti karakteristik kembang-susut tanah asli pada berbagai kadar air guna memahami perubahan volumenya.
2. Dapat dilakukan penelitian selanjutnya dengan pencampuran bahan stabilisator lainnya seperti semen, kapur atau bakteri *Bacillus subtilis* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, terutama pada kondisi *soaked*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hardiyatmo, H. C. (2012). Mekanika Tanah 1 Jilid 6. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
2. International Organization for Standardization. (2004). ISO 14688-2:2004 – *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification*. ISO.
3. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Surat Edaran Dirjen Bina Marga No. 02/SE/Db/2018)*. Direktorat Jenderal Bina Marga
4. Nasional, B. S. (2014). SNI 2460: 2014. Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozzolan Alam Mentah atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton.
5. SNI 1743 – 2008. *Cara Uji Kepadatan Berat untuk Tanah*.
6. SNI 1744 – 2012. *Metode Uji CBR Laboratorium*.

7. SNI 1964 – 2008. *Cara Uji Berat Jenis Tanah.*
8. SNI 1965 – 2008. *Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium.*
9. SNI 1966 – 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah.*
10. SNI 1967 – 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah.*
11. SNI 3423 – 2008. *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah.*
12. Wardoyo, S.; Destiasari, F.; Wayhudin, W and Hasibuan, G. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia.* Badan Geologi Kementerian