

STABILISASI TANAH DENGAN MATERIAL FLY ASH PLTU BENGKULU PADA PEMBANGUNAN JALAN PULAU ENGGANO

Mirotus Sakdiah¹, Redi Andriansah², dan Dewi Okta Ayuningtyas³

¹ Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, mirotus.20006@mhs.unesa.ac.id

² Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

³ Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

Abstrak: Tanah ekspansif yang mendominasi daratan Pulau Enggano di Provinsi Bengkulu berpengaruh terhadap pembangunan konstruksi di atasnya. Permukaan ruas jalan yang dibangun di atas tanah ekspansif akan mudah berair di musim hujan dan mengalami keretakan di musim kemarau yang mana kondisi tersebut dapat mempengaruhi kualitas infrastruktur jalan. Alternatif untuk permasalahan tersebut yaitu melakukan stabilisasi tanah dengan mencampurkan bahan kimia Fly Ash dari limbah pembakaran batubara PLTU Kota Bengkulu sebagai pozzolan yang dapat mengikat mineral tanah pada proses pemadatan tanah. Pemanfaatan limbah Fly Ash sebagai bahan stabilisasi juga merupakan salah satu bentuk penanganan lingkungan di sekitar PLTU untuk mengurangi dampak polusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan daya dukung tanah terhadap pencampuran material sustainable berupa Fly Ash sebagai bahan soil stabilizer pada tanah ekspansif guna pembangunan konstruksi jalan di sepanjang Pulau Enggano. Penelitian dilakukan melalui dua tahapan yang dimulai dengan melakukan studi kepustakaan dari jurnal serta penelitian yang relevan tentang pengaruh pencampuran Fly Ash pada tanah ekspansif terhadap daya dukung tanah. Tahap kedua, menganalisis data yang telah diperoleh dengan metode analisis deskriptif. Hasil dari literatur menunjukkan bahwa pengujian peningkatan daya dukung tanah dengan mencampurkan Fly Ash pada tanah ekspansif melalui uji CBR, UCT dan Atterberg Limit dapat meningkatkan daya dukungnya. Dari hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan Fly Ash sebagai material stabilisasi dapat meningkatkan daya dukung tanah yang akan memperbaiki kualitas konstruksi pada pembangunan jalan di Pulau Enggano.

Kata-kata kunci: tanah ekspansif, stabilisasi tanah, Fly Ash, daya dukung tanah

Abstract: The expansive land that dominates the mainland of Enggano Island in Bengkulu Province affects the construction on it. The surface of roads that are built on expansive soil will easily get watery in the rainy season and experience cracks in the dry season where this condition can affect the quality of road infrastructure. An alternative to this problem is to stabilize the soil by mixing Fly Ash chemicals from the coal combustion waste of the Bengkulu City PLTU as a pozzolan that can bind soil minerals in the soil compaction process. Utilization of Fly Ash waste as a stabilizing agent is also a form of environmental management around the power plant to reduce the impact of pollution. This study aims to determine the change in soil bearing capacity to the mixing of sustainable materials in the form of Fly Ash as a soil stabilizer material on expansive soil for road construction along Enggano Island. The research was carried out in two stages, starting with literature studies from journals and relevant research on the effect of mixing Fly Ash on expansive soils on the bearing capacity of the soil. The second stage, analyze the data that has been obtained by descriptive analysis method. The results from the literature show that testing the increase in soil bearing capacity by mixing Fly Ash on expansive soil through the CBR, UCT and Atterberg Limit tests can increase the bearing capacity. From the results of these tests, it can be concluded that the use of Fly Ash as a stabilizing material can increase the bearing capacity of the soil which will improve the quality of construction in road construction on Enggano Island.

Keywords: expansive soil, soil stabilization, Fly Ash, soil bearing capacity

1. PENDAHULUAN

Pulau Enggano yang terletak di Provinsi Bengkulu merupakan salah satu pulau terluar Indonesia bagian barat yang secara administratif termasuk dalam wilayah pemerintahan Kabupaten Bengkulu Utara. Kondisi sarana dan prasarana serta aksesibilitas yang mencakup kondisi infrastruktur jalan pada Pulau Enggano masih jauh dari kata layak. Hal itu dibuktikan dengan keadaan permukaan jalan sepanjang Pulau Enggano yang menjadi satu-satunya akses mobilisasi pada pulau tersebut masih berupa jalan yang berlumpur.

Pernyataan Laporan Kegiatan Studi Daya Dukung Pemanfaatan dan Pengembangan Pulau Enggano oleh Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu menunjukkan bahwa profil lapisan tanah di sebagian besar daratan Pulau Enggano bertekstur liat (clay) yang termasuk dalam kategori ekspansif. Tanah ekspansif merupakan tanah yang berpotensi tinggi mengalami kembang susut oleh pengaruh kadar air yang akan mengalami penyusutan dalam keadaan kering dan menyebabkan keretakan pada permukaan dan akan mengembang seiring bertambahnya kadar air. Kondisi tanah ekspansif yang demikian akan membawa hambatan untuk pekerjaan timbunan selama masa konstruksi maupun operasional.

Pembangunan konstruksi jalan pada permukaan tanah ekspansif menyebabkan permasalahan kualitas infrastruktur jalan dengan kondisi ruas jalan yang mudah berair di musim hujan dan mengalami keretakan di musim kemarau. Alternatif untuk permasalahan ini dapat dialukan pada tahap awal pembangunan jalan, yaitu dengan melakukan stabilisasi tanah atau langkah memperbaiki sifat tanah sebagai dasar konstruksi yang bertujuan untuk mendapat mutu tanah terbaik dan meningkatkan daya dukung tanah untuk rencana konstruksi di atasnya (Wardani dkk, 2018:2). Terdapat beberapa tindakan untuk melakukan stabilisasi tanah, salah satunya dengan menambahkan bahan kimia pada tanah dengan kadar tertentu sebelum proses pemadatan.

Salah satu bahan kimia additive yang dapat dimanfaatkan pada proses stabilisasi tanah adalah Fly Ash (abu terbang) yang mampu mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah akibat reaksinya sehingga sifat kembang susut air dapat berkurang (Utami dkk, 2021:18). Rencana kebutuhan abu terbang sebagai bahan stabilisasi tanah pada pembangunan infrastruktur jalan di Pulau Enggano dapat disediakan dari pengolahan limbah pembakaran batu bara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kota Bengkulu yang berjarak 163 kilometer dari pulau. Pembakaran batubara sebanyak kurang lebih 1 juta pertahun pada PLTU Kota Bengkulu diperkirakan dapat menghasilkan limbah Fly Ash sebanyak 40 ton setiap jamnya.

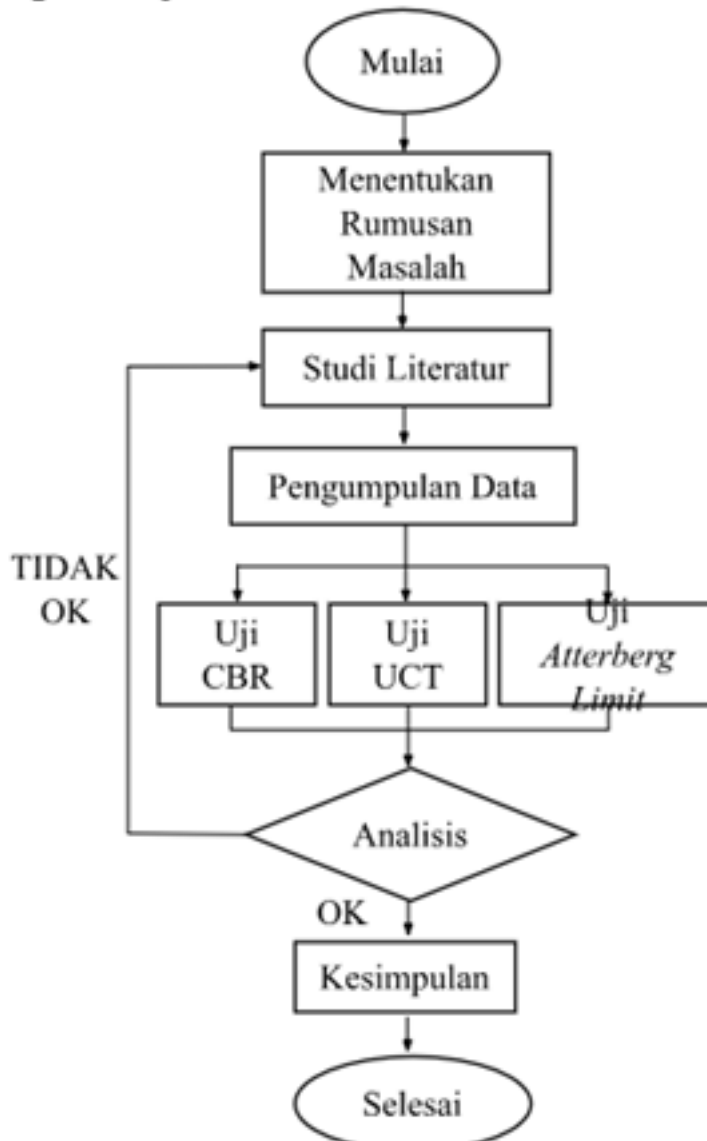
Dengan jumlah limbah yang demikian, jika pengelolaan limbah tidak dilakukan dengan baik maka akan memicu permasalahan pada lingkungan yang beresiko pada kesehatan warga setempat. Pemanfaatan Fly Ash sebagai material stabilisasi tanah selain dengan tujuan utama untuk memperbaiki daya dukung tanah pada pembangunan konstruksi jalan, juga sebagai langkah penanganan lingkungan di sekitar PLTU untuk mengurangi dampak polusi. Penggunaan material Fly Ash sebagai *soil stabilizer* yang dapat dicari, diolah dan digunakan terus menerus dimaksudkan untuk menambah kesadaran masyarakat untuk lebih peduli pada lingkungan.

Limbah abu terbang PLTU akan bekerja ketika ditambahkan air dan akan menimbulkan reaksi kimia antara kandungan SiO_2 (silikon oksida) dengan zat hasil hidrasi semen Ca(OH)_2

(kalsium hidroksida) yang menyebabkan terbentuknya zat pengikat. Fly Ash dari pembakaran batubara bersifat *pozzolanic* dan *self cementing* yang apabila bereaksi dengan air berkemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan pada tanah yang akan melalui proses stabilisasi dengan mengikat mineral tanah menjadi padat. Untuk itu, pada penelitian ini akan mendeskripsikan hasil uji *California Bearing Ratio* (CBR), *Unconfirmed Compression Test* (UCT) dan Atterberg Limit dan guna mengetahui perubahan daya dukung tanah setelah mencampurkan Fly Ash sebagai bahan soil stabilizer guna pembangunan jalan di daerah Pulau Enggano

2. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan yang dimulai dengan mengumpulkan data dari jurnal penelitian tentang pengujian daya dukung tanah setelah ditambah Fly Ash melalui uji CBT, UCT dan Atterberg Limit. Kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu melakukan analisis deskriptif data hasil pengujian yang telah diperoleh dari studi literatur.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL

Uji Perubahan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Terhadap Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Tenaya

Penelitian ini dilakukan oleh Nugroho dkk (2022) tentang peningkatan nilai CBR terhadap pencampuran Fly Ash (FA) dan Bottom Ash (BA) dari limbah PLTU Tenaya Raya, Kota Pekanbaru, Riau pada kelompok tanah CH (lempung plastisitas tinggi) yang diketahui setelah melakukan klasifikasi tanah melalui pengujian batas-batas konsistensi. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian CBR Setiap Variasi Campuran

Variasi (%)	Nilai CBR (%)					
	Tanpa Pemeraman		14 Hari Pemeraman		28 Hari Pemeraman	
	Un soaked	Soaked	Un soaked	Soaked	Un soaked	Soaked
Tanah Asli (S) 100	11.72	1.85	13.8	2.13	14.18	2.84
Kapur (L) 5+S 95	15.02	14.38	33.2	27.35	46.23	24.75
L5+S 80+BA 5+FA 10	16.97	20.33	40.84	36.17	64.71	48.56
L5+S 80+BA 10+FA 5	12.85	23.68	47.21	39.45	37.38	32.98
L5+S 70+BA 10+FA 15	19.77	33.51	44.59	47.32	48.78	44.92
L5+S 70+BA 15+FA 10	19.39	30.39	54.7	61.26	58.71	52.86
L5+S 60+BA 15+FA 20	16.37	36.18	48.51	52.27	65.29	75.37
L5+S 60+BA 20+FA 15	21.37	40.13	61.93	46.31	56.99	54.52

Sumber: Nugroho, dkk (2022:21)

Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas Terhadap Pencampuran Tanah Lempung Jalan Raya Bojonegoro Dengan Limbah Fly Ash PLTU Lontar

Indera dkk (2017), dalam penelitiannya tentang perubahan nilai kuat tekan bebas (qu) melalui uji UCT setelah menambahkan Fly Ash dari PLTU Lontar Kabupaten Tangerang pada klasifikasi sampel tanah MH (lempung tak organik yang bercampur lanau pasir halus) yang diambil dari daerah Jalan Raya Bojonegoro Kabupaten Serang dengan pemeraman menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Presentase Fly Ash Terhadap Lama Pemeraman

Waktu Pemeraman	Fly Ash (%)	qu (kg/cm ²)	Presentase Kenaikan (%)
0 Hari	0	1.763	0
	10	1.79	1.5
	20	1.847	4.8
	30	2.043	15.9
7 Hari	0	1.8	2.1
	10	1.87	6.1
	20	1.91	8.3
	30	2.06	16.8
14 Hari	0	2.2	24.8
	10	2.24	27.1
	20	2.27	28.8
	30	2.29	29.9
28 Hari	0	2.35	33.3
	10	2.37	34.4
	20	2.39	35.6
	30	2.4	36.1

Sumber: Indera, dkk (2017:6-7)

Perubahan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Cot Kayee Adang Dengan Tambahan Limbah Fly Ash PLTU Nagan Raya

Penelitian Siregar (2021), menunjukkan hasil pengujian CBR terhadap penambahan limbah Fly Ash PLTU Nagan Raya pada jenis tanah lempung daerah Cot Kayee Adang, Desa Meunasah Manyang, Kecamatan Muara Dua, Kota Lhokseumawe pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian CBR Unsoaked dan Soaked

Penambahan Fly Ash (%)	Nilai CBR (%)	
	Unsoaked	Soaked
0	13.9	5.1
5	14.5	6
10	15.1	7.7
15	17.7	6.7
20	15.7	6.2

Sumber: Siregar (2021:62)

Penambahan Fly Ash PLTU Nagan Raya pada Tanah Lempung Cot Kayee Adang Terhadap Tes Atterberg

Siregar (2021), melakukan pengujian Atterberg Limit guna mengetahui perubahan daya dukung tanah lempung daerah Cot Kayee Adang, Desa Maunasah Manyang, Kecamatan Muara Dua, Kota Lhokseumawe terhadap penambahan limbah Fly Ash PLTU Nagan Raya dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg

Penambahan Fly Ash (%)	Batas-Batas Atterberg		
	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)
0	40.3	25.06	15.24
5	39	25.99	13.01
10	38.4	26.84	11.56
15	38	28.93	9.07
20	37.6	29.5	8.1

Sumber: Siregar (2021:61)

Pengujian Daya Dukung Tanah Lempung Dengan Campuran Semen Portland, Abu Sekam dan Fly Ash Sebagai Subgrade Perkerasan Jalan

Penelitian penambahan campuran semen portland, abu sekam dan Fly Ash pada sampel tanah lempung bersifat plastis yang diambil dari lapangan Kelurahan Tumbang Rungan Palangkaraya, Kalimantan Tengah terhadap nilai daya dukung tanah melalui uji CBR oleh Kalawa dkk (2021) menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Variasi Campuran	Waktu Pemeraman	Nilai CBR (%)
Tanah Asli	0 hari	3.97
Tanah Asli+Semen Portland 5%+Abu Sekam 5%+Fly Ash 5%	4 hari	6.8
Tanah Asli+Semen Portland 5%+Abu Sekam 5%+Fly Ash 7.5%	4 hari	8
Tanah Asli+Semen Portland 5%+Abu Sekam 5%+Fly Ash 10%	4 hari	8.8

Sumber: Kalawa, dkk (2021:49)

Pengaruh Nilai CBR Terhadap Campuran Fly Ash Pada Stabilisasi Lempung Ekspansif Desa Oebelo

Penelitian Hangge (2022), tentang uji CBR setelah penambahan Fly Ash sebagai bahan stabilisasi pada sampel lempung ekspansif yang diambil dari Desa Oebelo, Jl. Timor Raya Km. 21 didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 6. Perbandingan Uji CBR pada Kondisi Terendam dan Tak Terendam

Penambahan Fly Ash (%)	Nilai CBR (%)	
	Terendam	Tak Terendam
0	1.11	1.39
10	1.95	3.04
20	3.12	5.79
30	4.22	7.14
40	7.5	9.91
50	9.24	11.74

Sumber: Hangge, dkk (2022:99)

Pengaruh Nilai UCT Terhadap Campuran Fly Ash Pada Stabilisasi Lempung Ekspansif Desa Oebelo

Hangge dkk dalam penelitian pengaruh Fly Ash pada stabilisasi lempung ekspansif menyatakan hasil pengujian UCT untuk mengetahui perbedaan nilai daya dukung tanah (q_u) dan kohesi undrained tanah (c_u) yang telah distabilisasi menggunakan kapur dan Fly Ash sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Terhadap Nilai Daya Dukung Tanah dan Kohesi Tanah Pada Tiap Variasi Campuran Kapur dan Fly Ash

Presentase Fly Ash (%)	Daya Dukung Tanah (q_u) (kg/cm ²)	Presentase Peningkatan (%)	Kohesi Undrained Tanah (c_u) (kg/cm ²)	Presentase Peningkatan (%)
Tanah Asli	0.157	0	0.079	0
Tanah Asli+ +5% m Kapur+10% Fly Ash	0.233	48.4	0.117	48.1
Tanah Asli+ +5% m Kapur+20% Fly Ash	0.285	81.52	0.143	81.01
Tanah Asli+ +5% m Kapur+30% Fly Ash	0.323	105.73	0.162	105.06
Tanah Asli+ +5% m Kapur+40% Fly Ash	0.346	120.38	0.173	118.99
Tanah Asli+ +5% m Kapur+50% Fly Ash	0.368	134.39	0.184	132.91

Sumber: Hangge, dkk (2022:100)

Pengaruh Pencampuran Tanah Lempung Dengan Fly Ash Sebagai Material Tanah Dasar Perkerasan Terhadap Nilai CBR

Penelitian Nugraha dan Ningrum (2020) menunjukkan, hasil pengujian daya dukung tanah melalui uji CBR pada tanah lempung (clay) yang diambil dari Jalan Inpres, Perawang, Riau setelah ditambah geopolimer Fly Ash sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Daya Dukung CBR dengan Perlakuan Curing Yang Berbeda

Variasi Sampel	Nilai CBR Curing 28 Hari	
	Dipadatkan dalam mold (1)	Tanpa mold (2)
100% Clay	10.31	7.54
90% Clay + 10% Fly Ash	20.68	20.08
85% Clay + 15% Fly Ash	27.79	26.59
80% Clay + 20% Fly Ash	27.19	18.33
75% Clay + 25% Fly Ash	23.98	22.78
70% Clay + 30% Fly Ash	25.33	22.82

Sumber: Nugraha dan Ningrum (2020:85)

Pengujian Nilai Kuat Tekan (qu) Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Daerah Magetan

Hasil uji nilai kuat tekan oleh Leliana dan Andajani (2015) terhadap pencampuran Fly Ash pada tanah lempung Ekspansif daerah Magetan, Jawa Timur dari uji Unconfined Compression Strength (UCS) menunjukkan hasil pada tabel dibawah ini:

Tabel 9. Prosentase Kenaikan Kepadatan Nilai Kuat Tekan

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (gr/cm ²)	Presentase Kenaikan (%)	Klasifikasi Konsistensi Tanah Lempung (kg/cm ²)
0	2.665	0	Sangat Kaku
5	3.099	16.29	Sangat Kaku
10	4.041	46.68	Sangat Kaku
15	4.442	56.61	Keras
20	5.009	69.37	Keras

Sumber: Leliana dan Andajani (2015:7)

Uji Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar Pada Stabilisasi Tanah Lempung Karang Anyar Lampung Selatan dengan Campuran Fly Ash PLTU Tarahan

Uji daya dukung tanah melalui uji CBR design terhadap pencampuran Fly Ash dari limbah batubara PLTU Tarahan, Lampung Selatan sebagai bahan stabilisasi untuk tanah lempung dasar dari Karang Anyar, Lampung Selatan yang termasuk dalam kelompok CL (tanah lempung organik plastisitas rendah) oleh Utami dkk (2021) menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Pengujian CBR Design Tiap Kadar Campuran Fly Ash

Kadar Fly Ash	Nilai CBR Desain (%)	
	Tanda Rendaman	Rendaman
0	7	1.33
10	7.44	1.77
20	8	2.4
30	9	2.85

Sumber: Utami, dkk (2021:23)

Penambahan Fly Ash PLTU Amurang dan Tras Pada Tanah Lempung Desa Sawangan Kecamatan Tombulu

Sompie dan Sumampouw (2020) dalam penelitiannya tentang pengaruh penambahan Fly Ash dari limbah batubara PLTU Amurang dan tras pada tanah lempung yang diambil dari Desa Sawangan, Kecamatan Tombulu dengan klasifikasi tanah CH atau lempung anorganik plastisitas tinggi terhadap daya dukung tanah melalui pengujian nilai berat isi kering maksimum, kadar air optimum dan CBR menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Uji Penambahan Fly Ash dan Tras Pada Tanah Lempung Terhadap Berat Isi Kering Maksimum, Kadar Air Optimum dan CBR

Variasi Penambahan Fly Ash+Tras (%)	Berat Isi Kering Maksimum (gr/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)	CBR (%)
0	1.18	24	1.5
5	1.2	23.75	1.75
10	1.24	23.6	2
15	1.26	22.5	2.5
20	1.32	21.4	3.25

Sumber: Sompie dan Sumampouw (2020:75)

Pengaruh Campuran Fly Ash Terhadap Nilai Batas Atterberg Tanah Lempung Daerah Pontianak Berdasarkan Uji Cone Penetrometer

Penelitian pengaruh Fly Ash terhadap Atterberg Limit oleh Sari, dkk (2021) pada tanah liat berlanau dari Jalan Karet, Kec. Sui Beliang, Pontianak Barat, Kalimantan Barat melalui uji Cone Penetrometer menunjukkan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil Uji Atterberg Limit

Sampel	Pemeraman (Hari)			
	0	7	14	28
Liquid Limit (LL)				
Tanah Asli (100%)	65.745	65.745	65.745	65.745
Fly Ash -5%	62.118	57.376	56.914	55.615
Fly Ash -10%	57.664	55.148	54.797	53.53
Fly Ash -20%	55.203	52.287	50.036	48.637
Fly Ash -40%	45.728	42.082	40.508	39.455
Plastic Limit (PL)				
Tanah Asli (100%)	33.7514	33.7514	33.7514	33.7514
Fly Ash -5%	31.491	30.27	30.029	30.516
Fly Ash -10%	28.892	28.674	29.156	29.079
Fly Ash -20%	27.605	27.573	27.805	26.694
Fly Ash -40%	25.283	26.935	26.345	26.403
Index Plasticity (IP)				
Tanah Asli (100%)	31.994	31.994	31.994	31.994
Fly Ash -5%	30.627	27.106	26.885	25.099
Fly Ash -10%	28.772	26.474	25.641	24.451
Fly Ash -20%	27.598	24.714	22.231	21.943
Fly Ash -40%	20.445	15.147	14.163	13.052

Sumber: Sari, dkk (2021:3)

Pengaruh Campuran Fly Ash Terhadap Nilai Batas Atterberg Tanah Lempung Daerah Pontianak Berdasarkan Uji Casagrande

Hayati, dkk (20221) dalam penelitian pengaruh Fly Ash terhadap Atterberg Limit tanah lanau organik dengan plastisitas tinggi dari Jalan Karet, Kec. Sui Beliung, Pontianak Barat, Kalimantan Barat melalui uji Casagrande menunjukkan nilai sebagai berikut:

Tabel 13. Hasil Uji Batas Atterberg Berdasarkan Kadar Fly Ash

Batas Atterberg	Fly Ash (%)	Waktu Curing (Hari)			
		0	7	14	28
Liquid Limit (%)	0	63.31			
	5	60.84	31.49	54.83	53.37
	10	56.79	28.89	51.86	50.13
	20	55.03	27.61	50	46.53
	40	44.22	25.28	41.43	38.28
Plastic Limit (%)	0	33.75			
	5	31.49	30.27	30.03	30.52
	10	28.89	28.67	29.16	29.08
	20	27.61	27.57	27.81	26.69
	40	25.28	26.94	26.35	26.4
Index Plasticity (%)	0	29.56			
	5	29.35	25.51	24.8	22.86
	10	27.89	23.66	22.7	21.05
	20	27.42	22.67	22.19	19.84
	40	18.93	15.48	15.09	11.88

Sumber: Hayati, dkk (2021:4-5)

Pengaruh Fly Ash Terhadap Stabilitas Tanah Lunak Kabupaten Lampung Selatan Sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (Subgrade)

Penelitian Wahyuni dkk (2021) melakukan pengujian pada sifat mekanis tanah lunak berbutir halus yang termasuk golongan CH atau lempung dengan plastisitas tinggi dari Desa Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan setelah ditambahkan Fly Ash sebagai bahan stabilisasi dan diperam dengan waktu 0 hari, 7 hari, dan 14 hari menunjukkan hasil uji berupa berat isi kering maksimum, nilai CBR dan indeks plastisitas yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 14. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Berat Isi Kering Tanah

Fly Ash (%)	Berat Isi Kering (gr/cm ³)		
	Tanpa Pemeraman 0 Hari	Waktu Pemeraman 7 Hari	Waktu Pemeraman 14 Hari
0	1.46	1.49	1.5
5	1.37	1.4	1.42
10	1.3	1.35	1.4
15	1.29	1.32	1.37

Sumber: Wahyuni, dkk (2021:554-557)

Tabel 15. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai CBR

Fly Ash (%)	CBR (%)		
	Tanpa Pemeraman 0 Hari	Waktu Pemeraman 7 Hari	Waktu Pemeraman 14 Hari
0	2.5	10	16.8
5	4.7	10.6	18
10	7.6	14.9	20.5
15	7.9	22.9	23.89

Sumber: Wahyuni, dkk (2021:554-557)

Tabel 16. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Indeks Plastisitas

Fly Ash (%)	Indeks Plastisitas (%)		
	Tanpa Pemeraman 0 Hari	Waktu Pemeraman 7 Hari	Waktu Pemeraman 14 Hari
0	28	28	28
5	14.9	14.9	14.9
10	11.8	12.4	12
15	8.3	9.9	10

Sumber: Wahyuni, dkk (2021:554-557)

Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Tanah Lempung di Kabupaten Fakfak Berdasarkan Uji Limit Atterberg

Yunus dan Aswan (2020), dalam penelitian pengaruh penambahan abu terbang pada tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi (OH) yang dikualifikasikan dari uji sistem Unified tanah yang diambil dari Kabupaten Fakfak telah melalui pemeraman dan uji Limit Atterberg menghasilkan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas sebagai berikut:

Tabel 17. Hasil Pengujian batas Atterberg diperam selama 7 hari

Jenis Pengujian	Presentase Abu Batu (%)				
	0	8	16	24	32
Batas Cair (%)	78.88	73.33	74.85	67.83	66.86
Batas Plastis (%)	57.92	48.91	46.97	47.01	46.1
Indeks Plastisitas (%)	20.96	24.42	27.87	20.82	20.76

Sumber: Yunus dan Aswan (2020:82)

Tabel 18. Hasil Pengujian batas Atterberg diperam selama 14 hari

Jenis Pengujian	Presentase Abu Batu (%)				
	0	8	16	24	32
Batas Cair (%)	78.88	72.95	77.36	70.99	64.11
Batas Plastis (%)	57.92	51.78	48.87	49.11	45.31
Indeks Plastisitas (%)	20.96	21.17	28.49	21.88	18.8

Sumber: Yunus dan Aswan (2020:82)

Pengaruh Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah di Daerah Kabupaten Serang Terhadap Campuran Fly Ash Pada Proses Stabilisasi

Pengujian Indera dkk (2016) terhadap nilai kuat tekan bebas pada kelompok tanah plastisitas rendah (ML) yang diambil dari Jalan Raya Bojonegara Kabupaten Serang dengan mencampurkan Fly Ash sebagai bahan stabilisasi melalui uji UCT menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 19. Nilai q_u Dengan Presentase Fly Ash Terhadap Lama Pemeraman

Waktu Pemeraman (Hari)	Fly Ash (%)	q_u (kg/cm ²)
0	0	1.26
	10	1.285
	20	2.15
	30	0
7	0	1.38
	10	1.73
	20	2.37
	30	0
14	0	1.55
	10	1.975
	20	2.5
	30	0
21	0	2.02
	10	2.1
	20	2.55
	30	0

Sumber: Indera, dkk (2016:102)

Pemanfaatan Material Stabilisasi Tanah Berupa Fly Ash dan Bottom Ash Pada Tanah Dasar Kabupaten Minahasa

Penelitian Insan dkk (2019), tentang dampak digunakannya Fly Ash dan Bottom Ash sebagai material tambahan stabilisasi pada pekerjaan subgrade untuk Jalan Lingkungan di PLTU Sulawesi Utara II, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara terhadap daya dukung tanah melalui uji CBR yang terdiri dari 2 sampel tanah plastis A yang tergolong mineral kuarsa dan sampel tanah B yang tergolong mineral kalsit menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 20. Hasil Uji CBR pada Sampel A dan B

Variasi	Nilai CBR (%)	
	Sampel A	Sampel B
100% Tanah Asli	11.2	5.35
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	19.66	21.33
75% Tanah Asli + 12.5 % Fly Ash + 12.5% Bottom Ash	52.22	40.88

Sumber: Insan, dkk (2019:4-5)

Penambahan Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Berupa Fly Ash dan Expanded Polystyrene Pada Lapisan Subgrade

Penelitian yang dilakukan oleh Hendry dkk (2021) bertujuan untuk melihat nilai uji CBR pada tanah dari daerah Gedebage Kota Bandung yang distabilisasi dengan campuran Fly Ash (FA) PLTU Suralaya, Cilegon, Banten dan Expanded Polystyrene (EPS) yang telah melalui pemeraman dan tumbukan dengan komposisi campuran sebagai berikut:

Tabel 21. Komposisi Campuran Bahan Tambahan Stabilisasi Tanah

Kode	Komposisi	Tanah Asli (%)	Kadar Fly Ash (%)	Kadar EPS (%)
I		84	16	0
II		85.75	16	0.25
III		83.75	16	0.5
IV		83.25	16	0.75

Sumber: Hendry, dkk (2021:44)

Penambahan stabilisasi tanah dengan komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 23 memperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 22. Hasil Pengujian Perubahan Nilai CBR dan Berat Kering Tanah

Masa Peram (Hari)	Hasil Uji	Tum-Bukan (kali)	Unsoaked				Soaked			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV
3	γ_d	10	1.07	1.05	0.93	0.91	1.1	1.08	0.98	0.94
		30	1.28	1.2	1.05	1.01	1.28	1.2	1.06	1
		65	1.38	1.26	1.13	1.06	1.38	1.26	1.14	1.05
	CBR	10	2.27	1.87	1.07	1.02	0.53	0.58	0.53	0.22
		30	3.2	2.49	1.87	1.33	1.93	1.51	0.98	0.67
		65	4.27	3.38	2	1.51	2.87	2	1.33	0.93
7	γ_d	10	1.09	1.07	1.02	0.91	1.12	1.06	1.03	0.94
		30	1.25	1.18	1.29	1.02	1.28	1.17	1.06	1.05
		65	1.34	1.26	1.57	1.05	1.35	1.23	1.6	1.06
	CBR	10	0.89	2.4	2.93	1.87	0.49	1.16	0.44	0.53
		30	3.91	3.47	2.48	1.87	1.6	2.22	1.33	0.6
		65	4.8	3.93	3.38	2	2.13	3.07	2.2	1
14	γ_d	10	1.08	1.05	0.97	0.86	1.1	1.07	1	0.89
		30	1.24	1.16	1.07	0.97	1.25	1.16	1.09	1
		65	1.32	1.21	1.09	1.03	1.31	1.24	1.11	1.06
	CBR	10	1.6	1.73	1.87	1.51	1.27	1.47	1.13	1.27
		30	3.33	1.87	2.27	2.4	2.07	1.93	1.73	2
		65	4.67	3.51	2.68	2.84	2.8	2.87	2.13	2.276
21	γ_d	10	1.17	1.07	0.93	0.82	1.18	1.06	0.96	0.86
		30	1.32	1.18	1.09	1.01	1.32	1.17	1.11	1.02
		65	1.34	1.26	1.1	1.09	1.34	1.23	1.1	1.06
	CBR	10	2.84	2.4	1.69	1.11	1.67	1.16	1.11	1.73
		30	4.55	3.47	3	2.8	3.07	2.22	2.27	2.2
		65	4.8	3.93	3.29	3.67	3.87	3.07	2.53	2.87

Sumber: Hendry, dkk (2021:45-48)

4. PEMBAHASAN

Uji Perubahan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Terhadap Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Tenaya

Uji perubahan nilai CBR tanah pada penelitian ini dilakukan pada sampel yang telah melalui masa curing (pemeraman) selama 0, 14, 28 hari yang terbagi lagi menjadi sampel direndam (soaked) dan tak direndam (unsoaked). Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai CBR seiring bertambahnya kadar zat adiktif, yang mana peningkatan terbesar terjadi pada campuran 5% kapur + 60% tanah asli + 15% Bottom Ash + 20% Fly Ash selama 28 hari pemeraman dan perendaman senilai 75.37%, serta juga ditunjukkan pula peningkatan terendah nilai CBR dalam penelitian ini pada campuran 5% kapur + 80% tanah asli + 10% Bottom Ash + 5% Fly Ash yang tidak diperam dan tak direndam dengan nilai sebesar 12.85%. Pemeraman dan perendaman juga membawa pengaruh secara umum pada peningkatan nilai CBR setelah dicampur zat adiktif.

Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas Terhadap Pencampuran Tanah Lempung Jalan Raya Bojonegoro Dengan Limbah Fly Ash PLTU Lontar

Pengujian Uji Kuat Tekan Bebas melalui uji UCT pada penelitian ini dilakukan setelah menambahkan Fly Ash dengan presentase 0%, 10%, 20%, 30% pada benda uji yang diperam dalam jangka waktu 0 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Peningkatan nilai q_u dilihat dari Tabel 2 menunjukkan nilai kuat tekan bebas maksimum terjadi pada campuran 30% Fly Ash dengan 28 hari pemeraman sebesar 2.4 kg/cm² dan presentase kenaikan sebesar 36.1%. Semakin lama pemeraman pada benda uji dengan presentase Fly Ash maksimum menyebabkan nilai q_u semakin besar karena sifat pozzolanic Fly Ash, namun jika penambahan Fly Ash melebihi titik maksimalnya maka sampel dapat mengering sehingga terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas (q_u).

Perubahan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Cot Kayee Adang Dengan Tambahan Limbah Fly Ash PLTU Nagan Raya

Uji CBR dilakukan pada tanah lempung yang dipadatkan dengan campuran Fly Ash dengan presentase secara berturut-turut sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pada Tabel 3 hasil pengujian CBR sampel tanah yang direndam (Soaked) dan tidak direndam (Unsoaked) menunjukkan peningkatan terbesar terjadi pada kadar 15% Fly Ash dengan 1 hari pemeraman tanpa perendaman dengan nilai CBR sebesar 17.7% dari nilai CBR yang mulanya senilai 13.9%. Sedangkan pada pengujian sampel yang melalui 4 hari perendaman didapat peningkatan terbesar nilai CBR sebesar 7.7% dengan kadar 10% Fly Ash.

Penambahan Fly Ash PLTU Nagan Raya pada Tanah Lempung Cot Kayee Adang Terhadap Tes Atterberg

Pengujian tes Atterberg merupakan pengujian yang menunjukkan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas. Pada Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian batas cair yang menurun seiring bertambahnya presentase campuran Fly Ash dari nilai 40.30% ke 37.60% pada pencampuran

20% Fly Ash. Berbeda dengan hasil uji batas cair, pada uji batas plastis terjadi kenaikan dari batas plastis awal 25.06% menjadi 29.50% pada 20% campuran Fly Ash. Adapun pada uji indeks plastisitas yang semula senilai 15.24% pada tanah asli mengalami penurunan menjadi 8.10% akibat 20% pencampuran Fly Ash yang dapat disimpulkan bahwa terjadinya penurunan batas Atterberg karena penambahan Fly Ash dapat menyetabilkan sampel tanah berupa tanah lempung dengan mengendalikan sifat plastis tanah.

Pengujian Daya Dukung Tanah Lempung Dengan Campuran Semen Portland, Abu Sekam dan Fly Ash Sebagai Subgrade Perkerasan Jalan

Hasil pengujian nilai CBR pada tanah sampel lempung berplastis pada Tabel 5 menunjukkan peningkatan maksimum dari nilai CBR tanah asli sebesar 3.97% ke 8.80% pada presentase 10% penambahan Fly Ash yang diperam selama 4 hari. Kenaikan nilai CBR terjadi secara bertahap seiring penambahan presentase Fly Ash dimulai dengan variasi 5% campuran Fly Ash yang meningkatkan nilai CBR senilai 6.80% dengan prosentase peningkatan dari tanah asli sebesar 71.29%, pada campuran 7.5% nilai CBR naik sebesar 8.00% atau sama dengan 101.51% tanah asli, dan campuran 10% menunjukkan 8.80% nilai CBR yang meningkat 121.66% dari tanah asli.

Pengaruh Nilai CBR Terhadap Campuran Fly Ash Pada Stabilisasi Lempung Ekspansif Desa Oebelo

Uji CBR dilakukan pada sampel tanah dengan variasi campuran Fly Ash sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yang diperam selama 7 hari dan terbagi menjadi sampel yang direndam dan tak direndam. Reaksi pozzolanic dari Fly Ash menyebabkan daya ikat butiran tanah meningkat dan membentuk tanah yang lebih keras dan kaku sehingga nilai CBR dapat meningkat bersamaan dengan penambahan kadar Fly Ash. Peningkatan maksimum nilai CBR sebesar 9.27% pada sampel yang direndam terjadi pada presentase campuran 5% kapur dan 50% Fly Ash, sedangkan pada peningkatan maksimum nilai CBR sampel tak direndam terjadi pada variasi campuran 5% kapur dan 50% Fly Ash sebesar 11.74%. Dari hasil yang ditampilkan pada Tabel 6 dapat dianalisa bahwa CBR pada sampel tak direndam memiliki nilai yang lebih besar, hal itu dikarenakan melemahnya daya dukung tanah akibat kenaikan kadar air sampel pada saat perendaman. Namun, sebagai permodelan kondisi tanah lapangan setelah distabilisasi pada keadaan jenuh air akan lebih baik jika menggunakan nilai CBR terendam sebesar 9.24%.

Pengaruh Nilai UCT Terhadap Campuran Fly Ash Pada Stabilisasi Lempung Ekspansif Desa Oebelo

Pengujian ini dilakukan campuran tanah, kapur dan Fly Ash sebagai bahan stabilisasi dengan campuran yang bervariasi untuk mengetahui beda nilai daya dukung tanah (q_u) dan kohesi undrained tanah (c_u) antara tanah asli dan tanah campuran. Hasil uji UCT pada Tabel 7 menunjukkan nilai (q_u) dan (c_u) terus meningkat seiring penambahan presentase Fly Ash karena sifat tanah yang semakin keras dan kaku akibat reaksi pozzolanic dan cementious. Peningkatannya tertinggi nilai q_u terjadi pada variasi campuran 5% kapur + 50% Fly Ash sebesar 0.368 kg/cm²

pada 134.39% presentase peningkatan dari nilai q_u awal sebesar 0.157 kg/cm² dan untuk peningkatan nilai c_u yang tertinggi terjadi pada campuran 5% kapur + 50% Fly Ash sebesar 0.184 kg/cm² dengan peningkatan 132.91% dari tanah asli sebesar 0.079 kg/cm².

Pengaruh Pencampuran Tanah Lempung Dengan Fly Ash Sebagai Material Tanah Dasar Perkerasan Terhadap Nilai CBR

Uji CBR dalam penelitian ini menggunakan sampel uji tanah tanpa rendaman dan dibagi menjadi 2 jenis perlakuan pada proses pemeraman selama 28 hari. Perlakuan pertama (with mould) dilakukan dengan memadatkan sampel uji pada mold CBR yang kemudian dibungkus plastik dan diperam dengan suhu kamar pada ruang tertutup. Sedangkan pada perlakuan kedua (without mould), pemeraman dilakukan dengan mengeluarkan terlebih dahulu sampel uji pada mold CBR yang kemudian disimpan dalam plastik yang tertutup. Tabel 8 menunjukkan nilai peningkatan daya dukung tanah tertinggi sebesar 27.79% terjadi pada perlakuan with mould dengan 15% campuran Fly Ash dan peningkatan sebesar 26.59% sebagai peningkatan tertinggi pada perlakuan without mould dengan 15% campuran Fly Ash.

Pengujian Nilai Kuat Tekan (q_u) Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Daerah Magetan

Hasil pengujian nilai kuat tekan dari uji unconfined compression strength pada penelitian ini dilakukan pada tanah asli tanpa campuran zat adiktif dan pada tanah yang telah ditambah Fly Ash. Pada Tabel 9 memperlihatkan kuat tekan pada tanah asli sebesar 2.665 gr/cm² dengan klasifikasi tanah lempung yang sangat kaku. Pengujian tanah dengan 5% kadar Fly Ash meningkatkan 16.29% nilai q_u dari tanah asli sebesar 3.099 gr/cm², pada 10% kadar Fly Ash nilai q_u mengalami kenaikan 46.68% sebesar 4.041 gr/cm², nilai q_u naik lagi menjadi 4.442 gr/cm² dengan 15% penambahan Fly Ash dengan prosentase kenaikan 56.61%, kemudian pada penambahan kadar maksimal Fly Ash sebesar 20% nilai q_u naik sebesar 69.37% dengan nilai 5.009 gr/cm². Dari semua hasil pengujian, penambahan kadar Fly Ash sebesar 10% mampu menaikkan nilai q_u paling efektif sebesar 4.041 gr/cm² dengan presentase kenaikan 46.68% yang mana per 1% nya menaikkan 4.67% dengan klasifikasi konsistensi tergolong sangat kaku. Kenaikan kuat tekan tanah menandakan bahwa daya dukung tanah juga mengalami peningkatan seiring dengan prosentase kenaikannya.

Uji Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar Pada Stabilisasi Tanah Lempung Karang Anyar Lampung Selatan Dengan Campuran Fly Ash PLTU Tarahan

Nilai CBR design pada penelitian ini diperoleh dari 3 sampel yang telah dicampur Fly Ash dengan presentase 0%, 10%, 20% dan 30% dan dipadatkan masing-masing dengan 10 kali tumbukan, 25 kali tumbukan dan 56 kali tumbukan yang terbagi menjadi 2 perlakuan tanpa rendaman dan dengan rendaman. Tabel 10 menunjukkan perbandingan nilai CBR antara 2 perlakuan sampel yang sama-sama mengalami kenaikan seiring pertambahan campuran Fly Ash. Nilai CBR tertinggi terjadi pada sampel tanpa rendaman dengan penambahan 30% Fly Ash senilai 9%. Sedangkan pada sampel dengan rendaman kenaikan CBR sangat kecil dan tidak signifikan.

Penambahan Fly Ash PLTU Amurang dan Tras Pada Tanah Lempung Desa Sawangan Kecamatan Tombulu

Penelitian ini untuk mengetahui perubahan nilai berat isi tanah kering maksimum, kadar air optimum, dan CBR untuk pengujian daya dukung tanah setelah dilakukan pencampuran Fly Ash dan Tras pada tanah asli lempung. Dari hasil yang ditunjukkan Tabel 11, pada campuran 20% Fly Ash dan Tras berat isi kering maksimum mencapai nilai tertinggi dengan nilai 1.32 gr/cm³ dengan nilai kadar air optimum sebesar 21.40% yang artinya berat isi tanah semakin meningkat dan kadar air maksimum semakin menurun seiring dengan bertambahnya prosentase Fly Ash dan Tras sebagai bahan stabilisasi yang menyebabkan tanah lempung semakin padat dan semakin besar pula daya dukungnya. Penambahan prosentase Fly Ash dan Tras juga turut meningkatkan prosentase nilai CBR yang juga turut meningkatkan daya dukungnya.

Pengaruh Campuran Fly Ash Terhadap Nilai Batas Atterberg Tanah Lempung Daerah Pontianak Berdasarkan Uji Cone Penetrometer

Hasil yang ditunjukkan Tabel 12 pengujian LL, PL pada sampel tanah setelah distabilisasi Fly Ash dengan presentase 5%, 10%, 20%, 40% dan melalui 0 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari pemeraman yang cenderung menurun. Nilai LL mengalami penurunan terbesar pada campuran 40% Fly Ash sebesar 39.988% dari nilai batas plastis tanah asli dalam waktu peram 28 hari dan penurunan terbesar nilai PL terjadi pada penambahan 40% Fly Ash sebesar 25.090% dari nilai batas plastis tanah asli dalam 0 hari waktu peram. Penurunan nilai LL dan PL secara otomatis menyebabkan penurunan pada nilai IP yang mana penurunan terbesar senilai 59.205% dari nilai indeks plastis tanah asli yang terjadi pada campuran 40% Fly Ash dalam waktu 28 hari pemeraman. Pencampuran Fly Ash sebagai bahan stabilisasi menyebabkan tanah kurang peka terhadap perubahan kadar air dikarenakan sebagian pori-pori tanah tertutup fraksi butiran kasar. Unsur kimia dalam Fly Ash berupa silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), fero oksida (Fe₂O₃) dan kalsium oksida (CaO) yang bersifat self cementing serta pengaruh waktu pemeraman menyebabkan penurunan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas.

Pengaruh Campuran Fly Ash Terhadap Nilai Batas Atterberg Tanah Lempung Daerah Pontianak Berdasarkan Uji Casagrande

Pengujian batas Atterberg pada uji casagrande terbagi menjadi 4 sampel uji yaitu tanah non curing (tanpa pemeraman), 7 hari curing, 14 hari curing, 28 hari curing dengan presentase Fly Ash sebesar 0%, 5%, 10%, 20% dan 40%. Hasil pada Tabel 13 menunjukkan nilai batas cair mengalami penurunan pada semua sampel uji dengan nilai penurunan terbesar pada 40% campuran Fly Ash dengan 28 hari curing senilai 38.282% dengan besar presentase penurunan dari tanah asli sebesar 39.536%, hal ini terjadi karena tanah mengeras lebih cepat akibat reaksi nilai Cao pada Fly Ash dengan air tanah. Uji batas plastis menunjukkan nilai yang cenderung menurun seiring bertambahnya Fly Ash baik pada sampel curing atau non curing dengan nilai penurunan terbesar terjadi pada 40% kadar Fly Ash dengan 0 hari pemeraman (non curing) senilai 25.283% dengan besar presentase penurunan 25.090%. Hasil uji indeks plastisitas mengalami penurunan pada setiap penambahan Fly Ash di semua sampel dan penurunan terbesar terjadi

pada sampel 40% kadar Fly Ash pada 28 hari pemeraman senilai 11.88% dengan presentase penurunan senilai 59.819% dari tanah asli yang merubah plastisitas tanah yang tinggi menjadi plastisitas sedang.

Pengaruh Fly Ash Terhadap Stabilisasi Tanah Lunak Kabupaten Lampung Selatan Sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (Subgrade)

Penelitian ini dilakukan pada sampel tanah plastis yang telah dicampur Fly Ash dan melalui 0, 7 dan 14 hari waktu pemeraman dengan hasil pada Tabel 14 yang menunjukkan hasil pengujian pengaruh pencampuran Fly Ash dapat meningkatkan nilai batas isi kering tanah seiring penambahan presentase Fly Ash dan durasi pemeraman. Pengujian sifat mekanis tanah berupa perubahan nilai CBR pada Tabel 15 yang menunjukkan peningkatan yang dipengaruhi oleh penambahan kadar Fly Ash dan durasi pemeraman pada suhu ruang dengan nilai CBR tertinggi pada kondisi 15% campuran Fly Ash dengan 14 hari pemeraman senilai 23.89%. Selanjutnya pada Tabel 16 menunjukkan hasil pengujian indeks plastisitas yang mengalami penurunan seiring presentase tambahan Fly Ash yang membawa dampak positif terhadap sifat fisis tanah. Reaksi Fly Ash untuk perbaikan tanah dasar dapat bekerja baik karena tanah dapat terikat sehingga nilai daya dukungnya meningkat.

Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Tanah Lempung di Kabupaten Fakfak Berdasarkan Uji Limit Atterberg

Pengujian batas Atterberg dilakukan pada sampel dengan 7 hari pemeraman dan sampel 14 hari pemeraman dengan prosentase Fly Ash 0%, 8%, 16%, 24% dan 32%. Hasil pada kedua sampel yang ditunjukkan pada Tabel 17 dan Tabel 18 mengalami penurunan batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas secara berkala sesuai dengan tambahan kadar Fly Ash. Pada sampel tanah dengan 7 hari peram, nilai batas cair tanah mengalami penurunan terbesar pada 32% campuran Fly Ash dengan prosentase penurunan sebesar 15.24% dari tanah asli dengan nilai 66.86%, nilai batas plastis juga turut mengalami penurunan dengan prosentase terbesar 20.40% dari tanah asli yang terjadi pada penambahan 32% Fly Ash dengan nilai 46.10%, kemudian diikuti nilai indeks plastisitas yang juga mengalami penurunan pada 32% tambahan Fly Ash sebesar 0.97% dari tanah asli senilai 20.76% yang sebelumnya juga mengalami kenaikan pada campuran 0%, 8% dan 16% Fly Ash. Sampel tanah dengan 14 hari pemeraman juga menunjukkan penurunan nilai batas cair sebesar 64.11% dengan 18.72% prosentase penurunan dari tanah asli pada 32% kadar Fly Ash, kemudian pada uji batas plastis mengalami penurunan dengan prosentase terbesar 21.77% dari tanah asli senilai 45.31%, pada indeks plastisitas juga turut terjadi penurunan dengan prosentase sebesar 10.32% dari tanah asli setelah sebelumnya mengalami kenaikan pada 0%, 8% dan 16% campuran Fly Ash, penurunan tersebut senilai 18.80% pada campuran 32% kadar Fly Ash. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar prosentase campuran Fly Ash maka semakin besar pula penurunan pada nilai batas Atterberg.

Pengaruh Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah di Daerah Kabupaten Serang Terhadap Campuran Fly Ash Pada Proses Stabilisasi

Pengujian kuat tekan bebas (q_u) pada penelitian ini menggunakan sampel tanah yang telah dicampur Fly Ash dengan kadar 0%, 10%, 20% dan 30% yang kemudian diperam dalam waktu 0 hari, 7 hari, 14 hari dan 21 hari menunjukkan hasil pada Tabel 19 bahwa nilai q_u tertinggi terjadi pada 20% kadar Fly Ash dengan 21 hari pemeraman dengan nilai 2.55 kg/cm². Dari nilai q_u awal sebesar 1.26 kg/cm² terus terjadi peningkatan seiring pertambahan kadar Fly Ash dan lama waktu pemeraman, prosentase peningkatan dari nilai awal q_u ke peningkatan tertinggi mencapai nilai 202.38% dari nilai awal. Pada penambahan 30% kadar Fly Ash menyebabkan tanah terlalu kering sehingga tidak diuji kuat tekannya karena penambahan bahan campuran sebagai bahan stabilisasi melebihi batas maksimumnya.

Pemanfaatan Material Stabilisasi Tanah Berupa Fly Ash dan Bottom Ash Pada Tanah Dasar Kabupaten Minahasa

Hasil pengujian CBR pada 2 sampel tanah A dan B sesuai Tabel 20 menunjukkan hasil peningkatan nilai CBR di setiap variasi campuran dari nilai CBR awal tanah asli sampel A senilai 11.2% ke nilai 19.66% dengan peningkatan sebesar 8.45% dari tanah asli pada campuran 75% Tanah Asli + 25% Fly Ash dan 52.22% pada variasi 75% Tanah Asli + 12.5 % Fly Ash + 12.5% Bottom Ash. Pada sampel tanah B hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai CBR dari nilai awal 5.35% ke 21.33% atau meningkat 15.98% dari nilai CBR tanah asli pada campuran 75% Tanah Asli + 25% Fly Ash dan peningkatan senilai 40.88% pada variasi campuran 75% Tanah Asli + 12.5 % Fly Ash + 12.5% Bottom Ash. Komposisi tanah pada masing-masing sampel yang telah dicampur bahan kimia adiktif yang meningkatkan nilai CBR dapat dipergunakan sebagai material lapisan tanah dasar.

Penambahan Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Berupa Fly Ash dan Expanded Polystyrene Pada Lapisan Subgrade

Pengujian ini dilakukan melalui uji CBR pada sampel tanah yang dicampur 16% Fly Ash dan Expanded Polystyrene dengan variasi yang berbeda dan dibedakan lagi menjadi sampel direndam dan tak direndam dengan perlakuan 10 kali, 30 kali dan 65 kali tumbukan dan diperam dalam waktu 3, 7, 14, dan 21 hari. Dari Tabel 22 dapat dilihat bahwa penambahan material Fly Ash dan Expanded Polystyrene berdampak pada nilai CBR yang semakin meningkat dan berat isi kering tanah yang menurun yang mana kondisi tersebut dapat meningkatkan daya dukung tanah. Dari perbedaan sampel yang telah disebutkan diatas, dapat diketahui presentase campuran terbaik untuk meningkatkan daya dukung tanah yaitu pada komposisi kode IV dengan presentase 82% tanah, 16% Fly Ash dan 75% Expanded Polystyrene pada kondisi tanah Soaked dan Unsoaked dengan 14 hari masa peram yang merupakan waktu efisien untuk penerapan di lapangan dengan angka penurunan berat isi kering tanah dan peningkatan nilai CBR terbesar.

Stabilisasi Tanah Dengan Material Fly Ash PLTU Bengkulu pada Pembangunan Jalan Pulau Enggano

Sampel tanah yang digunakan pada pengujian pengaruh penambahan material Fly Ash limbah PLTU pada proses stabilisasi tanah terhadap nilai daya dukungnya dari beberapa penelitian yang telah dilakukan berupa lempung berplastis yang termasuk dalam tanah ekspansif yang diambil dari berbagai daerah, menunjukkan kesamaan sifat dengan kondisi tanah di daratan Pulau Enggano yang didominasi tanah bertekstur liat. Pengujian pada sampel tanah tersebut dilakukan melalui uji CBR, UCT serta Atterberg Limit dan menunjukkan adanya peningkatan nilai CBR dan nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) serta penurunan batas Atterberg tanah yang mana kondisi tersebut dapat meningkatkan daya dukung tanah sesuai dengan kadar Fly Ash yang dicampurkan. Sesuai hasil penelitian tersebut, maka penambahan Fly Ash limbah PLTU Kota Bengkulu sebagai bahan stabilisasi tanah di Pulau Enggano dinilai dapat meningkatkan daya dukung serta kekuatan sub grade untuk mewujudkan infrastruktur jalan sepanjang Pulau Enggano yang berkualitas dan dapat beroperasi dalam jangka panjang. Selain dari sisi mutu, stabilisasi subgrade juga dapat menekan biaya perkerasan jalan karena lapisan yang dibutuhkan lebih tipis. Pemanfaatan limbah abu terbang PLTU Bengkulu juga membawa manfaat bagi kesehatan lingkungan sekitar karena pengaruh limbah berkurang.

5. SIMPULAN

Hasil pengujian perubahan daya dukung tanah terhadap penambahan material limbah PLTU berupa Fly Ash sebagai soil stabilizer melalui uji CBR, UCT dan Limit Atterberg menunjukkan hasil nilai CBR dan kuat tekan bebas tanah (q_u) yang meningkat dari nilai awal seiring dengan campuran Fly Ash pada tanah. Kenaikan nilai tersebut juga turut meningkatkan daya dukung tanah yang peningkatannya sebanding dengan kenaikan nilai CBR ataupun q_u . Sedangkan hasil pengujian batas Atterberg tanah dengan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas menunjukkan penurunan sesuai prosentase Fly Ash mampu meningkatkan daya dukung tanah seiring dengan penurunan nilai batas Atterberg. Dengan hasil yang demikian, maka pemanfaatan material sustainable berupa Fly Ash PLTU Kota Bengkulu sebagai bahan soil stabilizer pada tanah ekspansif dapat diterapkan pada pembangunan konstruksi jalan di sepanjang Pulau Enggano.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. Pedoman Perencanaan Stabilisasi Tanah dengan Bahan Serbuk Pengikat untuk Konstruksi Jalan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2015. Spesifikasi Bahan untuk Stabilisasi Berbasis Aspal pada Perkerasan Jalan Bervolume Lalu Lintas Rendah. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum

dan Perumahan Rakyat

Direktorat Verifikasi Pengelolaan Limbah B3 dan Limbah NONB3. 2021. Pengaturan Pengelolaan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) dalam PP 22/2021. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Hangge, Elsy E., Cornelis, R., & Dom, A.Y. 2022. Pengaruh Fly Ash pada Stabilisasi Lempung Ekspansive Terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR. JURNAL STABILISASI TANAH DENGAN FLY ASH DAN SEMEN UNTUK BADAN JALAN PLTU ASAM-ASAM Forum Teknik Sipil, Vol. 2(1): 92-102. Dari <https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/ForTekS/article/view/6702>

Hayati, A.S.A., Rustamaji, R. M., & Faisal, A. 2021. Pengaruh Campuran Limbah Batu Bara (Fly Ash) Terhadap Sifat Plastisitas Tanah Berdasarkan Uji Cassagrande. Jurnal JWK, Laut, Sipil, Tambang, Vol 8 (3). Dari <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/51475>

Hendry, Rahmawati, R., & Andriani, S. (2021) "Stabilisasi Tanah Lempung dengan Campuran Fly Ash (FA) dan Expanded Polystyrene (EPS) sebagai Alternatif Timbunan Ringan pada Lapisan Subgrade", Potensi: Jurnal Sipil Politeknik, 23(1): 41-50. Dari <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/potensi/citationstylelanguage/get/harvard-cite-them-right?submissionId=2490>

Huri, Andreas D., dkk. 2013. Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-asam. Jurnal Karya Teknik Sipil, Volume 2 (1): 82-89. Dari <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/4045>

Insan, M.K., Hariati, F., & Muhammad, F. 2019. Studi Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Material Stabilisasi Tanah Dasar. (Studi Kasus: Pekerjaan Subgrade Untuk Jalan Lingkungan di PLTU Sulawesi Utara II, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara). Jurnal Komposit, Vol 3 (2). Dari <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/komposit/article/view/3257/0>

K, Rama I., Mina, E., & Hutomo, Akbar P. 2017. Stabilisasi Tanah Menggunakan Fly Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Berdasarkan Variasi Kadar Air Optimum (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). Jurnal Fondasi Teknik Sipil, Volume 6 (1). Dari <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/2012>

K, Rama I., Mina, Enden., & Rahman, Taufik. 2016. Stabilisasi Tanah dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). Jurnal Fondasi Teknik Sipil, Volume 5 (1). Dari <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/1251/1010>

Kalawa, N., Sarie, F., & Yani, Moh. Ikhwan. 2021. Pengaruh Penambahan Semen Portland, Abu Sekam, dan Fly Ash Terhadap Nilai Daya Dukung Tanah Lempung Seb

- agai Subgrade Perkerasan Jalan. *Jurnal Kacapuri Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, Vol 4 (1). Dari <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/article/view/5127>
- Leliana, Arinda., dan Andajani, Nur. 2014. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Magetan Jawa Timur. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Ekspansif *Rekayasa Teknik Sipil Vol 1 Nomer 1/rekat/15: 1 – 8*. Dari <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/10064>
- Najamudin, Agusrin M. 2006. Laporan Kegiatan Studi Daya Dukung Pemanfaatan dan Pengembangan Kepulauan Enggano. Makalah disajikan dalam buku laporan Pusat Penelitian Lingkungan Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu, Bengkulu, Desember.
- Nugroho, S.A., Ningrum, P., & Muhandi. 2020. Pemanfaatan Geopolimer Abu Terbang Sebagai Pozzolanic Tanah Lempung Untuk Material Tanah Dasar Perkerasan. *Jurnal Fondasi Teknik Sipil*, Volume 9 (1). Dari <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/7366>
- Nugroho, Soewignjo A., Fatnanta, F., & Lembasi, M.K. 2022. Perubahan Nilai CBR Terhadap Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash pada Tanah Lempung. *Rekayasa Sipil / Volume 16 (1)*. Dari <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/666>
- Putri, Ade L., dan Nurkanto, A. 2016. Keragaman Aktinomisetes Asal Serasah, Sedimen, dan Tanah Pulau Enggano, Bengkulu [Diversity of Actinomycetes From Soil, Sediment, and Leaf Litter Samples of Enggano Island, Bengkulu]. *Berita Biologi Jurnal Ilmu-ilmu Hayati*, 15(3). Dari <https://www.neliti.com/id/publications/68449/keragaman-aktinomisetes-asal-serasah-sedimen-dan-tanah-pulau-enggano-bengkulu-de>
- Sari, N., Rustamaji, R.M., & Aprianto. Pengaruh Campuran Limbah Batu Bara (Fly Ash) Terhadap Sifat Plastisitas Tanah Berdasarkan Uji Cone Penetrometer. Dari <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/viewFile/51384/75676591547>
- Siregar, M.A., Gusrizal, & Syukri. 2021. Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara (Fly Ash) Untuk Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, Volume 04 (1). Dari <http://e-jurnal.pnl.ac.id/JSST/article/view/2384>
- Utami, Erdina T., Tambunan, H.F., & Simanjuntak, Indi R.U. 2021. Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar (Studi Kasus: Karang Anyar, Lampung Selatan). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, Vol 10 (1). Dari <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/10610>
- Wahyuni, Nanda Dwi, dkk. 2021. Kinerja Fly Ash terhadap Stabilitas Tanah Lunak sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (Subgrade). *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, Vol 9 (3). Dari <http://repository.lppm.unila.ac.id/36859/>
- Walewangko, B.Y., Sompie, O.B.A., & Sumampouw, J. E. R. 2020. Pengaruh Penam

bahan Fly Ash dan Tras pada Tanah Lempung Terhadap Nilai CBR. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 8 (1): 71-76. Dari <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/27710>

Yunus, Muhammad., dan Aswan, Muhammad. 2020. Pengaruh Penambahan Abu Batu (Fly Ash) Terhadap Plastisitas Tanah Lempung di Kabupaten Fakfak. *Jurnal Poli-Teknologi* 19 (1): 79-86. Dari https://www.researchgate.net/publication/339713080_Pengaruh_Penambahan_Abu_Batu_Fly_Ash_Terhadap_Plastisitas_Tanah_Lempung_Di_Kabupaten_Fakfak