



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Kajian Ekperimen Meningkatkan Daya Dukung Tanah Gambut dengan Campuran Limbah Industri (*Fly ash dan Bottom ash*)

Aidil Abrar^a, Halimatusadiyah^b, Melliana^c, Hadid Alfharizhi^d, Muhammad Ilham Saputra^e

^{a,b,d,e}Sekolah Tinggi Teknologi Dumai, Program Studi Teknik Sipil, Jln. Utama Karya, No. 100, Kota Dumai, 28813, Indonesia

^cSekolah Tinggi Teknologi Dumai, Program Studi Teknik Industri, Jln. Utama Karya, No. 100, Kota Dumai, 28813, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 15 Mei 2025

Revisi Akhir: 24 Desember 2025

Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Daya dukung tanah

Gambut

CBR

Limbah *Palm Oil*

KORESPONDENSI

Telepon: "+62 81365448825"

E-mail: aidilabrar@itbriapuesisir.ac.id

ABSTRACT

Kemajuan teknologi yang terus berkembang mendorong manusia untuk dapat melakukan sesuatu dengan cepat namun teliti. Perkerasan jalan selama ini ditentukan secara manual dan cukup menghabiskan waktu, sehingga dibutuhkan inovasi baru untuk meningkatkan performa perkerasan jalan dengan cara meningkatkan daya dukung tanahnya, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengkaji daya dukung tanah gambut (uji CBR) menggunakan campuran limbah industri kelapa sawit. Metode yang diterapkan adalah metode eksperimen, yaitu penelitian analisis terhadap pengujian yang dilaksanakan di laboratorium tanah dengan mengukur kadar air dari *bottom ash* dan *fly ash*, meneliti berat jenis *bottom ash* dan *fly ash*, serta melakukan pengujian analisis saringan, uji kepadatan, dan persentase *California Bearing Ratio* dengan percobaan menggunakan metode *trial and error* pada komposisi campuran 40% *bottom ash* dan 60% *fly ash* serta 45% *bottom ash* dan 55% *fly ash*. Penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa campuran 40% *bottom ash* dan 60% *fly ash* menghasilkan nilai daya dukung yang lebih tinggi, mencapai angka 16,9%. Semakin sedikit *fly ash* yang ditambahkan, semakin rendah pula nilai CBR yang diperoleh, seperti pada campuran 45% *bottom ash* dan 55% *fly ash*, yang menunjukkan nilai daya dukung sebesar 15,6%.

1. PENDAHULUAN

Riau mengukuhkan posisinya sebagai sentra sawit terbesar di Indonesia dengan luas lahan mencapai 3,49 juta hektar (BPS 2024). Namun, dominasi ini menghadapi tantangan infrastruktur serius karena karakteristik tanah gambut yang memiliki daya dukung rendah dengan nilai CBR di bawah 2%, yang mempersulit logistik TBS. Di sisi lain, tren transisi energi mulai bergeser dari batubara—yang menyisakan residu FABA—ke arah pemanfaatan biomassa sawit. Penggunaan cangkang dan serat tidak hanya menekan emisi karbon, tetapi juga menghasilkan abu sisa pembakaran yang dapat diaplikasikan kembali untuk memperbaiki struktur tanah dan nutrisi lahan.

Luasnya lahan perkebunan dan tingginya produksi mendukung perkembangan industri kelapa sawit. Limbah padat terdiri dari tandan buah segar, kulit, serta serabut atau serat dari kelapa sawit. Cangkang serta serabut atau serat kelapa sawit digunakan sebagai sumber energi pada boiler. Ketel uap (*boiler*) memproduksi energi uap. [1]. Pengolahan satu ton tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menghasilkan limbah, terdiri dari 23% tandan kosong kelapa sawit atau 230 kg, 6,5% limbah cangkang (*shell*) atau 65 kg, 4% lumpur sawit (*wet desenter solid*) atau 40 kg, 13% serabut (*fiber*) atau 130 kg, dan limbah cair yang mencapai 50% [2]. Setelah proses pembakaran selesai, abu cangkang sawit terdistribusi menjadi 2 tipe limbah yaitu: *Bottom Ash* dan *Fly Ash*.

Abu hasil pembakaran limbah industri kelapa sawit mengandung SiO₂ 50,57%; Al₂O₃ 1,03%; MgO 4,73%; P₂O₅ 6,53%; K₂O 8,45%; CaO 15,92%; Fe₂O₃ 2,56% serta senyawa lainnya 10,21%. Usai dilakukan preparasi, kandungan silika meningkat menjadi 80,92% [3]. Ada dua jenis bahan untuk stabilisasi tanah, yaitu *fly ash* dan *bottom ash*, serta semen sebagai bahan pengikat. Stabilisasi paling baik ditemukan pada *fly ash* karena dinilai jauh lebih efektif digunakan sebagai lapisan pondasi karena mampu menyerap FABA lebih banyak. [4].

Perkerasan jalan merupakan elemen penting dalam pembangunan jalan raya, kelancaran arus lalu lintas bergantung pada keadaan perkerasan jalan itu. Jika permukaan jalan mengalami masalah maka kelancaran arus lalu lintas akan terhambat baik dari segi waktu maupun biaya. Penggunaan limbah sebagai material perkerasan jalan adalah usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas industri. [5]. Penggunaan FABA dalam lapisan perkerasan jalan harus memiliki proporsi yang tepat agar pemanfaatan FABA dapat maksimal. Abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) adalah produk yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Metode yang paling umum untuk membakar batubara, terutama dalam menghasilkan energi dalam skala besar, adalah dengan pembakaran serbuk (*pulverized coal*), dan dianggap sebagai pembakaran berbentuk suspensi. [6]. Pemanfaatan FABA mencakup 13 variabel yang berkaitan dengan keberlangsungan FABA sebagai material infrastruktur, ditinjau dari perspektif ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ini dapat menjadikan FABA sebagai material infrastruktur untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan berarti kombinasi antara agregat dan material pengikat yang digunakan untuk mendukung beban lalu lintas. Agregat yang digunakan adalah pecahan batu, batu belah, batu kali, atau material lainnya. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal, semen atau tanah liat.

Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan material yang diletakkan di atas tanah, komponen lapisan ini terdiri dari berbagai jenis bahan granuler yang memberikan dukungan penting terhadap kapasitas struktural sistem perkerasan, terutama untuk perkerasan lentur.

2.2. Perkerasan Lentur

Konstruksi permukaan lentur atau yang biasa disebut *flexible pavement* memanfaatkan aspal sebagai pengikat di permukaannya. Lapisan perkerasannya dirancang agar saling mendukung dan menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2.3. Sifat Fisik Tanah

Dalam penelitian ini, sampel cangkang, *bottom ash*, dan *fly ash* diambil dari PT. Energi Sejahtera Mas di Kota Dumai. Dalam penelitian ini, pengujian terhadap karakteristik sifat cangkang, *bottom ash*, dan *fly ash* mencakup pengujian kadar air, analisis saringan, pengujian berat jenis, pengujian kompaksi, serta pengujian *California Bearing Ratio*.

3. METODOLOGI

Hasil pengujian yang dilaksanakan di laboratorium tanah yaitu pengujian kadar air dari *bottom ash* dan *fly ash*, penelitian berat jenis asal *bottom ash* serta *fly ash*, analisis saringan, *compaction test*, dan *california bearing ratio*, dengan persentase yang diuji menggunakan metode *trial and error* komposisi campuran yaitu: 40% *bottom ash* dan 60% *fly ash*, serta 45% *bottom ash* dan 55% *fly ash*. Jenis studi ini adalah kuantitatif deskriptif. Uji CBR di laboratorium dengan rendaman bertujuan untuk mengetahui seberapa besar dampak FABA pada campuran lapisan base ini dalam mencapai nilai CBR atau kekuatan daya dukung yang sesuai dengan standar bina marga 2018. [8]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Kadar Air

Adapun hasil pengujian kadar air pada *bottom ash* dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kadar Air *Bottom Ash*

Contoh	Satuan	Bottom Ash	
No. Cawan		1	2
Berat Cawan + Bottom Ash Basah	Gr	46,7	40,9
Berat Cawan + Bottom Ash Kering	Gr	35,4	29,56
Berat Cawan	Gr	8,61	9,11
Berat Air	Gr	11,3	11,34
Berat Bottom Ash Kering	Gr	26,79	20,45
Kadar Air	%	42,180	55,452
Kadar Air Rata-Rata	%	48,816	

Adapun hasil pengujian kadar air pada *Fly ash* dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air *Fly Ash*

Contoh	Satuan	Fly Ash	
No. Cawan		1	2
Berat Cawan + Fly Ash Basah	Gr	27,41	29,5
Berat Cawan + Fly Ash Kering	Gr	27,31	29,3
Berat Cawan	Gr	8,93	8,67
Berat Air	Gr	0,1	0,2
Berat Fly Ash Kering	Gr	18,38	20,63
Kadar Air	%	0,54	0,97
Kadar Air Rata-Rata	%	0,76	

4.2. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis digunakan untuk mengetahui berat jenis dari suatu bahan seperti pasir atau tanah. Adapun hasil pengujian berat jenis pada *Bottom Ash* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis *Bottom Ash*

No	Keterangan	Volume	Satuan
1	Berat Sample	249	gr
2	Berat SSD Cangkang (W1)	249	gr
3	keranjang + Sampel + Air (W3)	792	gr
4	Berat SSD + Air (W4)	672	gr
5	Berat Setelah Sampel Di Oven (W2)	224	gr
6	S.Gravity	1,93	
	$\frac{W1}{W1-(W3-W4)} \times 100$ %		
7	Apparety S.Gravity	2,39	
	$\frac{W1}{W2 - (W3-W4)} \times 100$ %		
8	Persentasi Penyerapan (Absorbtion)	11,16	%
	$\frac{W1-W2}{W2} \times 100$ %		

Adapun hasil pengujian berat jenis pada *Fly Ash* dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis *Fly Ash*

NO.	Keterangan	volume		satuan
1	Picnometer	A	B	
2	Berat picnometer + sampel + tutup (w2)	78,81	92,47	gr
3	Berat picnometer (w1)	53,81	67,47	gr
4	Berat sampel (wt)	25	25	gr
5	suhu °c	29	29	°c
6	Berat picnometer + air + sampel + tutup (w3)	172,34	182,51	gr
7	Berat picnometer + air + tutup (w4)	158,2	167,1	gr
8	W5 = W2-W1+W4	183,2	192,1	gr
9	isi tanah (w5-w3)	10,86	9,59	gr
10	berat jenis (gs) wt	2,30	2,61	

	w5-w3		
11	rata-rata	2,45	

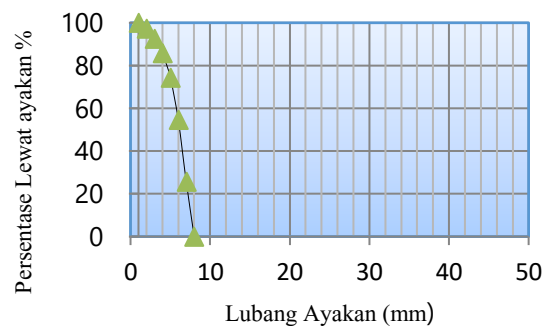
4.3. Pengujian Analisa Saringan

Untuk pengujian analisa saringan persentase yang digunakan ada 2 percampuran yaitu Pengujian Analisa Saringan dengan 40% *Bottom Ash*, dan 60% *Fly Ash* Dari Total Berat Sampel. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Analisa Saringan

No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persentase berat yang tertahan (komulatif)	Persentase berat yang lolos (komulatif)
4	4,75	0,00	0,000	0,00	100,000
8	2,36	29,00	2,900	2,90	97,100
16	1,18	46,00	4,600	7,50	92,500
30	0,60	67,00	6,700	14,20	85,800
50	0,30	115,00	11,500	25,70	74,300
100	0,15	198,00	19,800	45,50	54,500
200	0,075	288,00	28,800	74,30	25,700
Pan	-	257,00	25,700	100,00	0,000
Wadah		1000			

Grafik Analisa Saringan



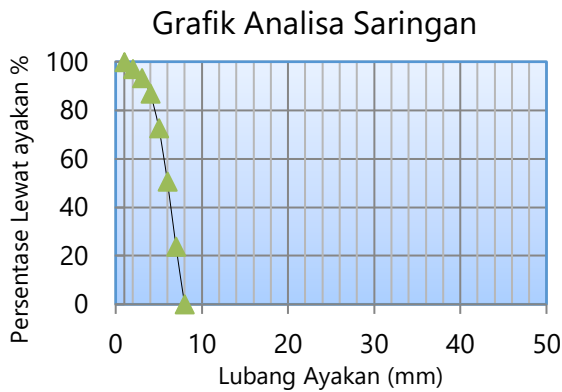
Gambar 1. Hasil Grafik Analisa Saringan

Pengujian Analisa Saringan Dengan 45% *Bottom Ash*, dan 55% *Fly Ash* dari Total Berat Sampel. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Analisa Saringan

No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen berat yang tertahan (komulatif)	Persentase berat yang lolos (komulatif)
4	4,75	0,00	0,000	0,00	100,000
8	2,36	29,00	2,900	2,90	97,100
16	1,18	37,00	3,700	6,60	93,400

30	0,60	65,00	6,500	13,10	86,900
50	0,30	142,00	14,200	27,30	72,700
100	0,15	220,00	22,000	49,30	50,700
200	0,075	269,00	26,900	76,20	23,800
Pan	-	238,00	23,800	100,00	0,000
Wadah		1000			



Gambar 2. Hasil Grafik Analisa Saringan

4.4. Pengujian Compaction Test

Untuk pengujian compaction test persentase yang digunakan ada 2 percampuran yaitu Pengujian *Compaction Test* Dengan 40% *Bottom Ash*, dan 60% *Fly Ash* dari Total Berat Sampel. Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan berat jenis kering maksimum. Berikut hasil pengujian pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Compaction Test*

DATA BENDA UJI

Berat Tanah Basah (gr)	2500	2500	2500	2500	2500
Kadar Air Awal (%)	-	-	-	-	-
Penambahan Air (%)	0	1	2	3	4
Penambahan Air (cc)	0	25	50	75	100

BERAT ISI

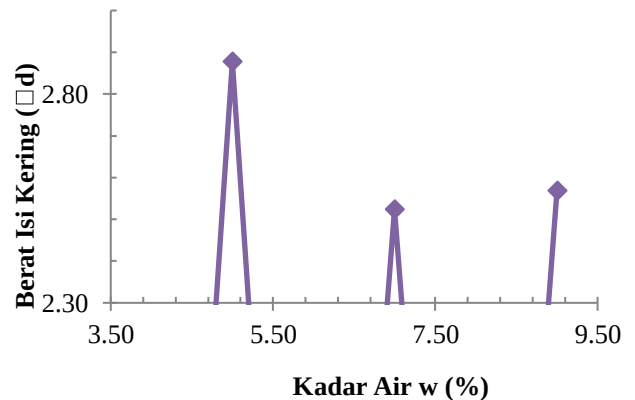
Berat Tanah Basah + Cetakan	2741,0	2824,0	2957,0	2618,0	2669,0
Berat Cetakan (gr)	169,0	169,0	169,0	169,0	169,0
Berat Tanah Basah (gr)	2572,0	2655,0	2788,0	2449,0	2500,0
Isi Cetakan (cm ³)	920,895	920,895	920,895	920,895	920,895
Berat Isi Basah (g)	2,79	2,88	3,03	2,66	2,71
Berat Isi Kering (γ _d)	2,69	2,76	2,88	2,52	2,57

KADAR AIR

Cawan	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Berat Tanah Basah + Cawan	38	38	35	32	41	40
Berat Tanah Kering + Cawan	37	37	34	31	40	38
Berat Air	1	1	1	1	1	2
Berat Cawan	10	11	9	9	9	10
Berat Tanah Kering	27	26	25	22	31	28
Kadar Air (%)	3,70	3,85	4,00	4,55	3,23	7,14
Kadar Air Rata Rata (%)	3,77		4,27		5,18	
Cawan	D1	D2	E1	E2		
Berat Tanah Basah + Cawan	38	36	51	45		
Berat Tanah Kering + Cawan	36,5	34,8	49	43		
Berat Air	1,5	1,2	2	2		
Berat Cawan	11	10	10	11		
Berat Tanah Kering	25,5	24,8	39	32		
Kadar Air (%)	5,88	4,84	5,13	6,25		
Kadar Air Rata Rata (%)	5,36		5,69			

Untuk menentukan nilai kadar air optimum dan berat kering maksimum dapat ditentukan melalui Gambar 3 dibawah ini.

Pemadatan Tanah

Gambar 3. Hasil Grafik *Compaction Test*

Gambar 3 pengujian diatas dapat ditentukan nilai kadar air optimum sebesar 4,60 % dan berat volume kering 2,82 gr/cm³.

Pengujian *Compaction Test* Dengan 45% *Bottom Ash*, dan 55% *Fly Ash* dari Total Berat Sampel. Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan berat jenis kering maksimum. Berikut hasil pengujian pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Compaction Test*

DATA BENDA UJI

Berat Tanah Basah (gr)	2500	2500	2500	2500	2500
------------------------	------	------	------	------	------

Kadar Air Awal (%)	-	-	-	-	-
Penambahan Air (%)	0	1	2	3	4
Penambahan Air (cc)	0	25	50	75	100

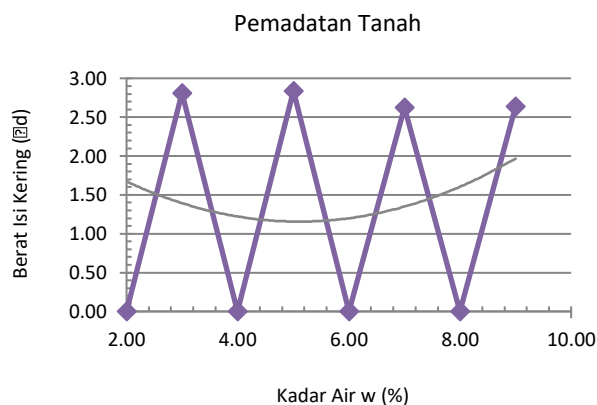
BERAT ISI

Berat Tanah Basah + Cetakan	2732,0	2878,0	2926,0	2734,0	2748,0
Berat Cetakan (gr)	169,0	169,0	169,0	169,0	169,0
Berat Tanah Basah (gr)	2563,0	2709,0	2757,0	2565,0	2579,0
Isi Cetakan (cm ³)	920,895	920,895	920,895	920,895	920,895
Berat Isi Basah (g)	2,78	2,94	2,99	2,79	2,80
Berat Isi Kering (γd)	2,71	2,81	2,84	2,62	2,64

KADAR AIR

Cawan	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Berat Tanah Basah + Cawan	47	47	31	33	43	44
Berat Tanah Kering + Cawan	46	46	30	32	41,5	42
Berat Air	1	1	1	1	1,5	2
Berat Cawan	9	9	9	9	9	10
Berat Tanah Kering	37	37	21	23	32,5	32
Kadar Air (%)	2,70	2,70	4,76	4,35	4,62	6,25
Kadar Air Rata Rata (%)	2,70		4,55		5,43	
Cawan	D1	D2	E1	E2		
Berat Tanah Basah + Cawan	45	45	44	46		
Berat Tanah Kering + Cawan	43	43	42	44		
Berat Air	2	2	2	2		
Berat Cawan	11	10	11	10		
Berat Tanah Kering	32	33	31	34		
Kadar Air (%)	6,25	6,06	6,45	5,88		
Kadar Air Rata Rata (%)	6,16		6,17			

Untuk menentukan nilai kadar air optimum dan berat kering maksimum dapat ditentukan melalui Gambar 4 dibawah ini.

Gambar 4. Hasil Grafik *Compaction Test*

Gambar 4 pengujian diatas dapat ditentukan nilai kadar air optimum sebesar 4,40% dan berat volume kering 2,85 gr/cm³.

4.5. Pengujian California Bearing Ratio

Untuk pengujian *California Bearing Ratio* persentase yang digunakan ada 2 pencampuran yaitu Pengujian *California Bearing Ratio* dengan 40% *bottom ash*, dan 60% *fly ash* dari total berat sampel. Adapun hasil pengujian *California Bearing Ratio* dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini

Tabel 9. Hasil Pengujian *California Bearing Ratio*

Waktu (Menit)	Penurunan (inch)	3x10 Tumbukan		3x25 Tumbukan	
		Pembacaan Arloji	Beban (Kg)	Pembacaan Arloji	Beban (Kg)
		atas	atas	atas	atas
0	0	0	0	0	0
0,25	0,0125	0,5	7	1	15
0,5	0,025	1	15	2	31
1	0,050	2	31	3	46
1,5	0,075	2,8	43	4	62
2	0,100	3,5	54	5	77
3	0,150	4	62	7	108
4	0,200	5	85	9	139

Waktu (Menit)	Penurunan (inch)	3x56 Tumbukan	
		Pembacaan Arloji	Beban (Kg)
		atas	atas
0	0	0	0
0,25	0,0125	1,5	23
0,5	0,025	3	46
1	0,050	6	93
1,5	0,075	8	124
2	0,100	11	170
3	0,150	15	232
4	0,200	22	341

Adapun pembahasan dari pengujian *compaction test* yang terdapat pada Tabel 9 dijelaskan pada perhitungan dibawah ini. Beban standar pengujian pada penetrasi 0,1” = 3000 lbs, dan Beban standar untuk pengujian pada penetrasi 0,2” = 4500 lbs. Maka perhitungan *California Bearing Ratio* adalah sebagai berikut.

Sampel 3 x 10 tumbukan

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,1'' \times \text{nilai kalibrasi profiling ring nilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,1'' \times 100 \% \\ &= 51 \times 2,2503000 \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= 3,8 \%$$

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,2'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,2'' \times 100 \% \\ &= 90 \times 2,2504500 \times 100 \% \\ &= 4,5 \% \end{aligned}$$

Sampel 3 x 25 tumbukan

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,1'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,1'' \times 100 \% \\ &= 76 \times 2,2503000 \times 100 \% \\ &= 5,7 \% \\ \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,2'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,2'' \times 100 \% \\ &= 138 \times 2,2504500 \times 100 \% \\ &= 6,9 \% \end{aligned}$$

Sampel 3 x 56 tumbukan

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,1'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,1'' \times 100 \% \\ &= 175 \times 2,2503000 \times 100 \% \\ &= 13,1 \% \\ \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,2'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,2'' \times 100 \% \\ &= 338 \times 2,2504500 \times 100 \% \\ &= 16,9 \% \end{aligned}$$

Pengujian *California Bearing Ratio* dengan 45% *Bottom Ash*, dan 55% *Fly Ash* dari Total Berat Sampel. Adapun hasil pengujian *California Bearing Ratio* dapat dilihat pada Tabel 10 berikut ini.

Tabel 10. Hasil Pengujian *California Bearing Ratio*.

Waktu (Menit)	Penurunan (inch)	3x10 Tumbukan		3x25 Tumbukan	
		Pembacaan Arloji	Beban (Kg)	Pembacaan Arloji	Beban (Kg)
		atas	atas	atas	atas
0	0	0	0	0	0
0,25	0,0125	0,5	7	1	15
0,5	0,025	0,8	12	1,5	23
1	0,050	1	15	2	31
1,5	0,075	2	31	3	46
2	0,100	3	46	4	62
3	0,150	4	62	5	77
4	0,200	5	77	8	124
Waktu (Menit)	Penurunan (inch)	3x56 Tumbukan			
		Pembacaan Arloji	Beban (Kg)		
		atas	atas		
0	0	atas	atas		
0,25	0,0125	0	0		

0,5	0,025	2	31
1	0,050	3	46
1,5	0,075	5	77
2	0,100	7	108
3	0,150	10	155
4	0,200	15	232

Adapun pembahasan dari pengujian *compaction test* yang terdapat pada tabel 10 dijelaskan pada perhitungan dibawah ini Beban standar pengujian pada penetrasi 0,1'' = 3000 lbs, dan Beban standar untuk pengujian pada penetrasi 0,2'' = 4500 lbs. Maka perhitungan *California Bearing Ratio* adalah sebagai berikut.

Sampel 3 x 10 tumbukan

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,1'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,1'' \times 100 \% \\ &= 46 \times 2,2503000 \times 100 \% \\ &= 3,45 \% \\ \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,2'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,2'' \times 100 \% \\ &= 80 \times 2,2504500 \times 100 \% \\ &= 4 \% \end{aligned}$$

Sampel 3 x 25 tumbukan

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,1'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,1'' \times 100 \% \\ &= 63 \times 2,2503000 \times 100 \% \\ &= 4,7 \% \\ \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,2'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,2'' \times 100 \% \\ &= 125 \times 2,2504500 \times 100 \% \\ &= 6,25 \% \end{aligned}$$

Sampel 3 x 56 tumbukan

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,1'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,1'' \times 100 \% \\ &= 160 \times 2,2503000 \times 100 \% \\ &= 12 \% \\ \text{CBR} &= \text{nilai beban } 0,2'' \times \text{nilai kalibrasi profing ringnilai} \\ &\quad \text{penetrasi } 0,2'' \times 100 \% \\ &= 313 \times 2,2504500 \times 100 \% \\ &= 15,6 \% \end{aligned}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari uji dan analisis data yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengujian dan analisis data *bottom ash* dan *fly ash* mengindikasikan bahwa penggunaan variasi campuran menghasilkan nilai, di mana kombinasi 40% *bottom ash* dan 60% *fly ash* menghasilkan nilai daya dukung maksimum sebesar 16,9%. Semakin sedikit penambahan *fly ash*, semakin kecil nilai CBR-nya, seperti

pada kombinasi 45% *bottom ash* dan 55% *fly ash* yang menghasilkan kapasitas dukung sebesar 15,6%. Hasil pengujian lapangan dan analisis tanah gambut menunjukkan bahwa pengujian *california bearing ratio* dengan variasi campuran menghasilkan kombinasi 25% Gambut, 55% *bottom ash*, dan 20% *fly ash* yang menghasilkan daya dukung tertinggi dengan nilai 14%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Erivianto, B. Abhi P dan D. Notosudjono, "Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik Pada Existing Boiler," *Sainstech*, vol. 26, no. 2, pp. 85-93, 2016.
- [2] M. F. Praevia dan Widayat, "Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara," *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 28-37, 2022.
- [3] E. Prianti, M. B. Malino dan B. P. Lapanporo, "Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai," *POSITRON*, vol. V, no. 1, pp. 26-29, 2015.
- [4] A. N. Mak'sudah, Y. A. Saputro dan D. Rochmanto, "STABILISASI CAMPURAN FLY ASH, BOTTOM ASH, DAN SEMEN TERHADAP PENGARUH NILAI KUAT TEKAN BEBAS(UNCONFINED COMPRESSION TEST)," *Jurnal Konstruksidan Infrastruktur*, vol. XI, no. 1, pp. 1-8, 2023.
- [5] I. Susanto, R. Ranastra, G. Gunawan dan Y. Ronny, "INFORMASI SIFAT MATERIAL FABA DALAM PEMANFAATAN SEBAGAI BAHAN LAPIS PONDASI JALAN," dalam *Konferensi Nasional Teknik Jalan k*, Jakarta, 2019.
- [6] J. Chandra, N. Abdillah dan A. Abrar, "Perencanaan Komposisi Campuran Base dengan Menggunakan Limbah Cangkang, Bottom Ash, dan Fly Ash," *JURNAL SLUMP TeS*, vol. 2, no. 2, pp. 62-70, 2024.
- [7] U. Ayuningtyas, Rosmeika dan A. Firdaus, "Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Material Infrastruktur Untuk Mendukung Pembangunan Yang Berkelanjutan," dalam *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat 2023*, Pangkal Pinang, 2023.
- [8] T. S. Indriyati, A. Malik dan Y. Alwinda, "KAJIAN PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH FABA (FLY ASH DAN BOTTOM ASH) PADA KONSTRUKSI LAPISAN BASE PERKERASAN JALAN," *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 112-119, 2019.