

Pengolahan Pofa (*Palm Oil Fuel Ash*) Dan Semen Sebagai Material Alternatif Timbunan Pilihan Jalan Untuk Perbaikan Infrastruktur Jalan

Dila Oktarise Dwina¹, Nazarudin², Oki Alfernando³, Dyah Kumalasari⁴, Tia Nofrina⁵

^{1,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jambi

^{2,3}Program Studi Teknik Kimia, Universitas Jambi

^{2,3}Pusat Studi Energi and Nano Material, LPPM, Universitas Jambi

^{1,2,3,4}Pusat Unggulan IPTEK Bio-Geo Material Energy, Universitas Jambi

Email : diladwina@unja.ac.id

Diterima redaksi: 30 Maret 2022 | Selesai revisi: 14 April 2022 | Diterbitkan *online*: 30 April 2022

ABSTRAK

Perkembangan industri kelapa sawit yang terus meningkat berdampak terhadap limbah kelapa sawit berupa abu sisa pembakaran cangkang sawit atau dikenal dengan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*). Salah satu cara menekan jumlah POFA ialah dengan memanfaatkannya dalam bidang Teknik Sipil. Pada penelitian ini limbah kelapa sawit berupa abu sawit (POFA) dimanfaatkan sebagai material untuk timbunan pilihan dalam konstruksi perkerasan jalan. Selain menggunakan POFA penelitian ini juga menggunakan bahan tambahan berupa semen dengan persentase penambahan sebesar 2%, 4%, 6% dan 12%. Hasil pengujian CBR rendaman (*soaked*) dan UCS dilaboratorium menunjukkan bahwa nilai CBR dan UCS mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar semen disetiap variasi. Nilai CBR dan UCS mengalami kenaikan dan mencapai nilai maksimum pada penambahan kadar 12 % yaitu sebesar 28,01% untuk CBR dan 4,903 kg/cm² untuk UCS. Nilai yang diperoleh sudah memenuhi standar dan dapat digunakan sebagai material timbunan pilihan.

Kata kunci : POFA, semen, CBR, UCS

ABSTRACT

The development of the palm oil industry which continues to increase has an impact on palm oil waste in the form of ash from burning palm shells, known as POFA (Palm Oil Fuel Ash). One way to reduce the number of POFA is to use it in the field of Civil Engineering. In this study, Palm Oil Fuel Ash (POFA) was used as a material for the embankment in road pavement construction. In addition to using POFA, this study also used additional materials in the form of cement with the percentage addition of 2%, 4%, 6% and 12%. The results of the soaked CBR and UCS tests in the laboratory showed that the CBR and UCS values increased with increasing cement content in each variation. The value of CBR and UCS increased and reached the maximum value at the addition of 12% concentration, which was 28.01% for CBR and 4.903 kg/cm² for UCS. The value obtained has reach the standard and can be used as a choice of embankment material.

Keyword : POFA, cement, CBR, UCS

1. Pendahuluan

Kelapa sawit menjadi salah satu komoditas agribisnis di Indonesia yang perkembangannya cukup pesat dan menjadi primadona dalam sektor perkebunan. Sumber

daya alam yang melimpah ini tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, salah satunya ialah Provinsi Jambi. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jambi (2018) luas lahan kelapa sawit di Jambi pada tahun 2017

mencapai 497.984 Hektar. Perkembangan industri sawit yang terus meningkat akan berdampak terhadap limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan tandan buah segar (TBS). Limbah dari sawit berupa tandan kosong, sabut, dan batok atau cangkang sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan energi mekanik dan panas. Hasil pembakaran dari limbah ini menghasilkan limbah baru berupa abu limbah kelapa sawit atau sering juga disebut *Palm Oil Fuel Ash* (POFA).[1-7]

Abu limbah kelapa sawit atau sering disebut *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) merupakan masalah bagi industri kelapa sawit karena memerlukan lahan pembuangan yang luas. Jumlah POFA yang terus meningkat setiap tahunnya dan sampai sekarang masih kurang termanfaatkan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Salah satu cara menekan jumlah POFA ialah dengan memanfaatkan POFA sebagai material dalam bidang Teknik Sipil. Pada penelitian ini POFA akan digunakan sebagai material untuk timbunan pilihan dalam konstruksi perkerasan jalan.[3, 5, 6, 8, 9]

Menurut Bina marga (2018) tentang Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 3, timbunan pilihan harus digunakan sebagai lapisan penopang (*cappinglayer*) pada tanah dasar (*subgrade*) yang tergolong tanah lunak dan mempunyai CBR (*California Bearing Ratio*) lapangan kurang dari 2,5% yang tidak dapat ditingkatkan dengan pemadatan atau stabilisasi. Timbunan digunakan sebagai pondasi dasar yang mendukung lapisan pondasi bawah dan apabila lapis pondasi bawah tidak ada, maka lapisan tanah dasar digunakan sebagai lapisan yang mendukung langsung timbunan di atasnya. Persyaratan utama timbunan ialah harus mempunyai kemampuan untuk menyebarkan beban lalu lintas yang berulang tanpa mengalami deformasi atau penurunan yang berarti akibat beban lalu lintas dan beban timbunan itu sendiri. [1, 7, 8, 10-15]

Mengingat sekitar 20 juta hektar atau lebih dari 10% luas daratan di Indonesia merupakan tanah lunak yang terdiri dari tanah lempung lunak (*soft clay soil*) dan tanah gambut (*peatsoil*) dan Provinsi Jambi

merupakan salah satu daerah dengan kepemilikan lahan gambut terbesar ke 3 di pulau Sumatera (BPTP Balitbangtan Jambi, 2018), tidak sedikit konstruksi jalan raya harus dibangun di atas tanah lunak, dan tidak sedikit pula yang mengalami kerusakan akibat kuat dukungnya yang rendah. Berdasarkan permasalahan ini maka sangat diperlukan bahan atau material yang baik dan memenuhi standar untuk timbunan pilihan jalan. Material yang akan diuji cobakan pada penelitian ini yaitu berupa material campuran dari POFA dan semen. Percampuran antara POFA dan semen diharapkan mampu menghasilkan nilai CBR yang memenuhi untuk material timbunan pilihan jalan menurut spesifikasi Bina Marga.[1, 2, 4, 10, 13]

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kelayakan bahan stabilitas dari campuran POFA dan semen ini memenuhi atau tidak sebagai timbunan pilihan ialah berupa pengujian di laboratorium yaitu pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) dan UCS (*Unconfined Compression Strength*) atau uji kuat tekan bebas. Pengujian CBR bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR dari campuran POFA dan semen, nilai CBR yang didapatkan harus memenuhi nilai CBR timbunan pilihan menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu CBR 10%. Selain CBR, penelitian kali ini juga melakukan uji UCS (*Unconfined Compression Strength*) atau kuat tekan bebas, uji UCS merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat tekan ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut.[1, 2, 4, 6, 11]

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Timbunan

Timbunan digunakan sebagai pondasi dasar yang mendukung lapisan pondasi bawah dan apabila lapis pondasi bawah tidak ada, maka lapisan tanah dasar digunakan sebagai lapisan yang mendukung langsung timbunan di atasnya, setiap timbunan jalan harus mempunyai kekuatan dan keawetan tertentu.[1, 8, 11]

Persyaratan utama timbunan ialah harus mempunyai kemampuan untuk menyebarkan beban lalu lintas yang berulang tanpa mengalami deformasi atau penurunan yang berarti akibat beban lalu lintas dan beban timbunan itu sendiri dan harus mempunyai stabilitas yang cukup terhadap faktor perusak seperti curah hujan, air rembesan dan gempa.

Berdasarkan Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 3-pekerjaan tanah tahun 2018, timbunan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu timbunan biasa, timbunan pilihan dan timbunan pilihan di atas tanah rawa.

2.2. Abu Sawit atau POFA (Palm Oil Fuel Ash)

Proses pembakaran limbah sawit dalam boiler menyisakan produk sampingan berupa abu kelapa sawit atau POFA (Palm Oil Fuel Ash). POFA memiliki kandungan utama Silika dioksida (SiO₂) yang memiliki sifat reaktif dan aktivitas pozzolanik bagus yang bisa bereaksi menjadi bahan yang keras dan kaku.[7, 9, 16]

Tabel 1. Unsur Kimia POFA (Palm Oil Fuel Ash)

No	Unsur kimia	Persentase (%)
1	Silica dioksida (SiO ₂)	64,36
2	Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	4,36
3	Besi oksida (Fe ₂ O ₃)	3,41
4	Kalsium oksida (CaO)	7,92
5	Magnesium oksida (MgO)	4,58
6	SO ₃	0,04
7	K ₂ O	5,57

Sumber: Yuliana rizki, 2013

POFA (Palm Oil Fuel Ash) memiliki kandungan utama Silika dioksida (SiO₂) yaitu sebesar 64,36 %. Jumlah silika yang tinggi dapat diperoleh dari Palm Oil Fly Ash dengan harga murah sebagai bahan alternatif untuk banyak industri (Jamo dan Abdul, 2015).[16-21]

2.3. Semen

Semen merupakan suatu bahan pengikat yang bereaksi apabila bercampur dengan air. Semen merupakan bahan yang mempunyai sifat adhesive dan cohesive. Umumnya semen digunakan sebagai bahan pengikat (bonding material), yang dipakai bersama-

sama dengan batu kerikil dan pasir. Kandungan dari semen akan bereaksi dengan air menjadi bahan yang keras. Reaksi tersebut dikenal dengan reaksi hidrasi. Reaksi hidrasi semen banyak dimanfaatkan dalam pekerjaan konstruksi, contohnya semen digunakan sebagai bahan dasar beton dengan mencampur semen dan air serta beberapa bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatannya. Selain itu semen juga digunakan para peneliti bidang geoteknik untuk perkuatan tanah yang memiliki kadar air tinggi.[7]

2.4. Pengujian Pematatan Tanah

Pemadatan adalah usaha secara mekanik untuk merapatkan butir-butir tanah. Pemadatan dilakukan untuk mengurangi volume tanah, mengurangi volume pori namun tidak mengurangi volume butir tanah.

Menurut Bowles (1989) keuntungan yang diperoleh dengan melakukan pemadatan tanah yaitu:

- a. Berkurangnya penurunan permukaan tanah (subsidence), yaitu gerakan vertikal di dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
- b. Bertambahnya kekuatan tanah.
- c. Berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air pada saat pengeringan.

Berdasarkan SNI 1742:2008, Pemadatan tanah di laboratorium dilakukan untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum.[22]

2.5. California Bearing Ratio (CBR)

CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (subgrade) dan timbunan. CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini. Nilai CBR menunjukkan tingkat kekerasan tanah di lapangan.

Nilai CBR adalah perbandingan dalam persen (%) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston

berpenampang bulat seluas 3 inch², dengan kecepatan 0.05 inch/menit. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Pengujian CBR merupakan cara untuk memperoleh nilai, kemudian dipakai dalam menentukan tebal perkerasan yang diperlukan.[1]

2.6. Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Strenght Test*)

Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan, maka tanah tersebut akan ditahan oleh kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, serta gesekan antar butir – butir tanah.

Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah adalah uji kuat tekan bebas. Uji kuat tekan bebas (UCS) bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan bebas tanah berkohesi tanpa tahanan keliling. Pengujian UCS dapat dilakukan pada material kohesif, seperti lempung dan tanah tersemen (*cemented soil*) yang tetap tegak tanpa tahanan keliling dan tidak mengeluarkan air selama pembebanan berlangsung.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Teknik pengumpulan dan pengolahan data

Dalam penelitian ini analisis pengolahan data dilakukan setelah data terkumpul dari hasil pengujian di Laboratorium Bahan Bangunan Dinas Pekerjaan Umum Pasir Putih Provinsi

Jambi. Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian ini disajikan dalam bentuk tabel, gambar, dan grafik yang kemudian dianalisa berdasarkan standar-standar SNI yang digunakan pada setiap pengujian. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada POFA maka didapatkan data

1. Data Pemadatan standar
2. Data CBR
3. Data UCS

3.2. Metode analisis data

Dari hasil pengujian CBR dan UCS akan disajikan dalam bentuk tabel, angka dan grafik secara sistematis, tujuannya ialah untuk melihat perbandingan dari masing-masing variasi campuran. Analisis dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran POFA dan semen sebagai material alternatif timbunan jalan. Sebelum dilakukan pengujian dalam penelitian ini, beberapa variasi sampel dipersiapkan terlebih dahulu, kemudian ditentukan untuk setiap masing-masing pengujian. Untuk lebih jelas jumlah sampel setiap variasi campuran yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. Jumlah Sampel

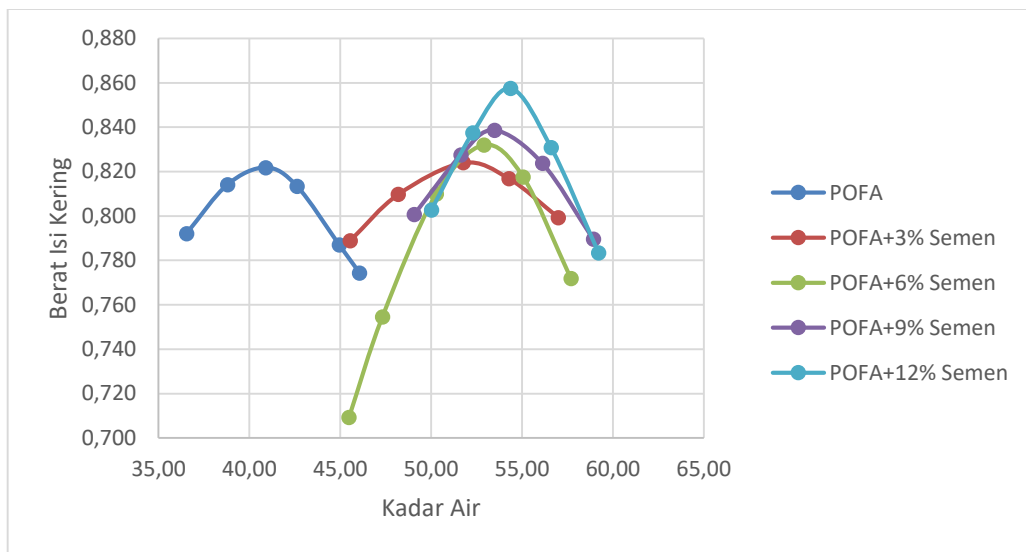
No	Keterangan variasi	Nama pengujian		
		Pemadatan	CBR	UCS
1	Variasi campuran 1	5 sampel	3 sampel	1 sampel
2	Variasi campuran 2	5 sampel	3 sampel	1 sampel
3	Variasi campuran 3	5 sampel	3 sampel	1 sampel
4	Variasi campuran 4	5 sampel	3 sampel	1 sampel
TOTAL		20 sampel	12 sampel	4 sampel

4. Analisis dan Pembahasan

4.1. Pemadatan

Pengujian pemadatan berfungsi untuk memperoleh nilai kadar air terbaik untuk mendapatkan berat volume kering atau kepadatan maksimum. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pemadatan untuk masing-masing variasi penambahan semen yaitu pengujian pemadatan untuk 3% semen + POFA, 6% semen + POFA, 9% semen + POFA dan 12% semen + POFA. Hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada **Gambar 1**

Nilai kadar air optimum dan berat isi kering untuk masing-masing pengujian 3% semen + POFA, 6% semen + POFA, 9% semen + POFA dan 12% semen + POFA dapat dilihat pada **tabel 3**.



Gambar 1. Grafik hubungan kadar air dan berat isi kering setiap variasi penambahan semen
Sumber: Hasil Analisa, 2021

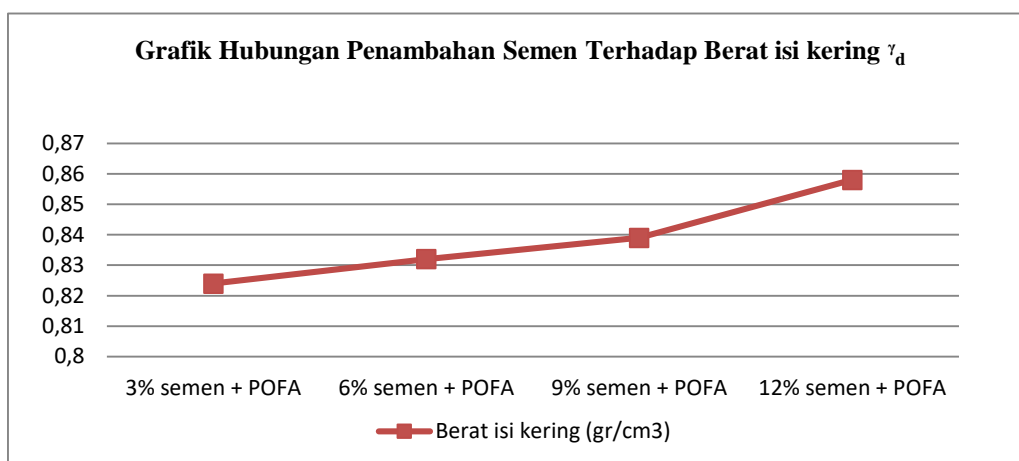
Tabel 3. Jumlah Sampel

Variasi	Berat isi kering (% _d) (gr/cm ³)	Kadar air optimum (w _{opt}) (%)
3% semen + POFA	0,824	51,76
6% semen + POFA	0,832	52,90
9% semen + POFA	0,839	53,48
12% semen + POFA	0,858	54,37

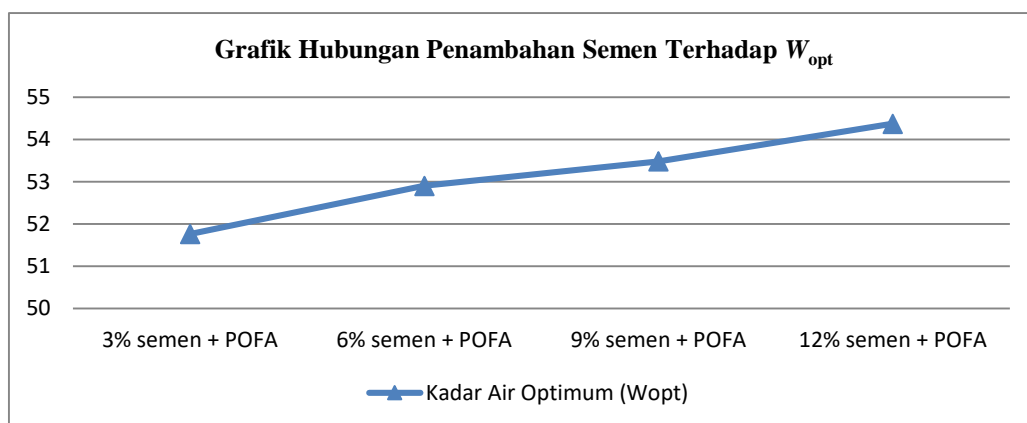
Sumber : Hasil Analisa, 2021

Pengaruh penambahan semen terhadap kadar air optimum pada masing-masing variasi dapat dilihat pada grafik hubungan penambahan semen terhadap berat isi kering dan kadar air optimum pada **gambar 2** dan **gambar 3**.

Berdasarkan **gambar 2** dan **gambar 3** dapat dilihat bahwa penambahan semen disetiap variasi dapat meningkatkan nilai berat isi kering dan kadar air optimum. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa penambahan semen pada setiap variasi dapat meningkatkan nilai kepadatan untuk masing-masing variasi.



Gambar 2. Grafik Hubungan Penambahan Semen Terhadap Berat isi kering γ_d
 Sumber : Hasil Analisa, 2021



Gambar 3. Grafik Hubungan Penambahan Semen Terhadap Berat isi kering W_{opt}
 Sumber : Hasil Analisa, 2021

4.2. Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

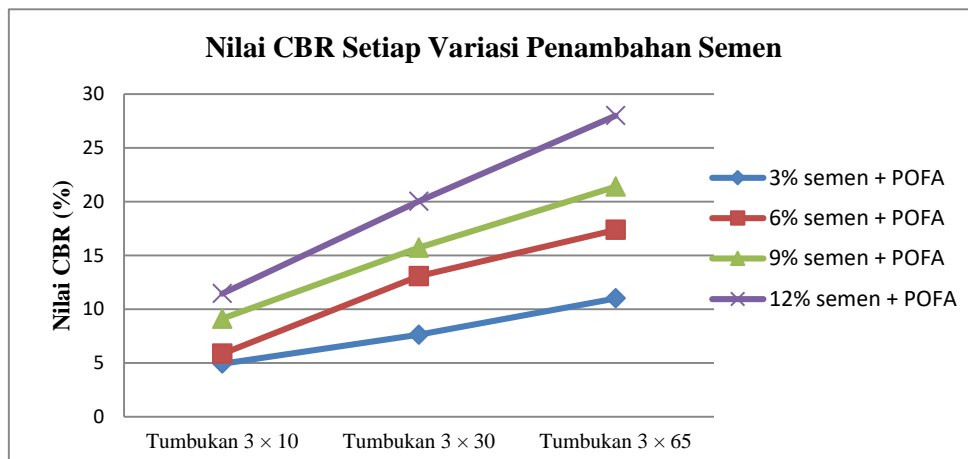
Nilai rata-rata CBR dari pengujian di laboratorium untuk tumbukan 3×10 , tumbukkan 3×30 , dan tumbukkan 3×65 pada masing-masing variasi penambahan semen dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 4. Nilai CBR pada setiap penambahan semen terhadap POFA mengalami peningkatan, hal ini dapat.

Dilihat pada tabel 4 dan gambar 4, dimana nilai CBR untuk penambahan semen sebanyak 3% pada tumbukan 3×65 yaitu sebesar 11,01%, sedangkan untuk penambahan semen sebanyak 6% yaitu 17,38%, dan nilai CBR terus mengalami peningkatan yaitu 21,39% untuk penambahan semen sebanyak 9% dan 28,01% untuk penambahan semen 12%.

Tabel 4. Nilai CBR setiap variasi penambahan semen

Variasi	Nilai CBR (%)		
	Tumbukan 3×10	Tumbukan 3×30	Tumbukan 3×65
3% semen + POFA	4,93	7,62	11,01
6% semen + POFA	5,86	13,07	17,38
9% semen + POFA	9,11	15,72	21,39
12% semen + POFA	11,45	20,04	28,01

Sumber: Hasil Analisa, 2021



Gambar 4. Nilai CBR setiap variasi penambahan semen
 Sumber: Hasil Analisa, 2021

Penambahan jumlah semen pada setiap variasi campuran dapat meningkatkan nilai daya dukung atau yang disebut dengan nilai CBR. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi sementasi. Reaksi yang terjadi membentuk suatu butiran baru yang lebih keras sehingga material menjadi kuat dan permanen. selain itu penambahan semen pada POFA juga dapat membuat terisinya rongga pori sehingga mengakibatkan terjadinya sifat saling mengikat antar butir-butirnya semakin besar yang kemudian menghasilkan stabilitas yang tinggi. Terisinya pori-pori tanah juga dapat memperkecil terjadinya rembesan pada campuran POFA dan semen yang berdampak pada berkurangnya potensi kembang susut. Berdasarkan Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 3-pekerjaan tanah tahun 2018, material timbunan pilihan bila diuji sesuai dengan SNI 03-1744-2012, memiliki CBR paling sedikit 10 % setelah 4 hari perendaman bila dipadatkan sampai 100% kepadatan kering maksimum sesuai dengan SNI 03-1742-2008. Berdasarkan standar ini nilai CBR yang telah diperoleh dari pengujian CBR campuran 3% semen pada tumbukan 3x65 yaitu 11,01% telah dapat digunakan sebagai material timbunan pilihan untuk konstruksi perkerasan jalan.

4.3. Pengujian Unconfined Compression Strength (UCS)

Pengujian UCS merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui stabilitas tanah. Pengujian UCS yang dilakukan pada laboratorium ialah dengan menggunakan sampel yang dibentuk kembali

atau disebut dengan *remoulded*. Campuran POFA dan semen dibentuk dengan menggunakan silinder berdiameter 4,8 cm dan tinggi 9,6 cm. Dalam proses pembuatan benda uji menggunakan kadar air optimum yang diperoleh dari pengujian pemadatan. Pengujian UCS dilakukan pada masing-masing variasi penambahan semen. Hasil pengujian untuk masing-masing variasi penambahan semen yaitu 3% semen + POFA, 6% semen + POFA, 9% semen + POFA dan 12% semen + POFA dapat dilihat pada tabel 5.

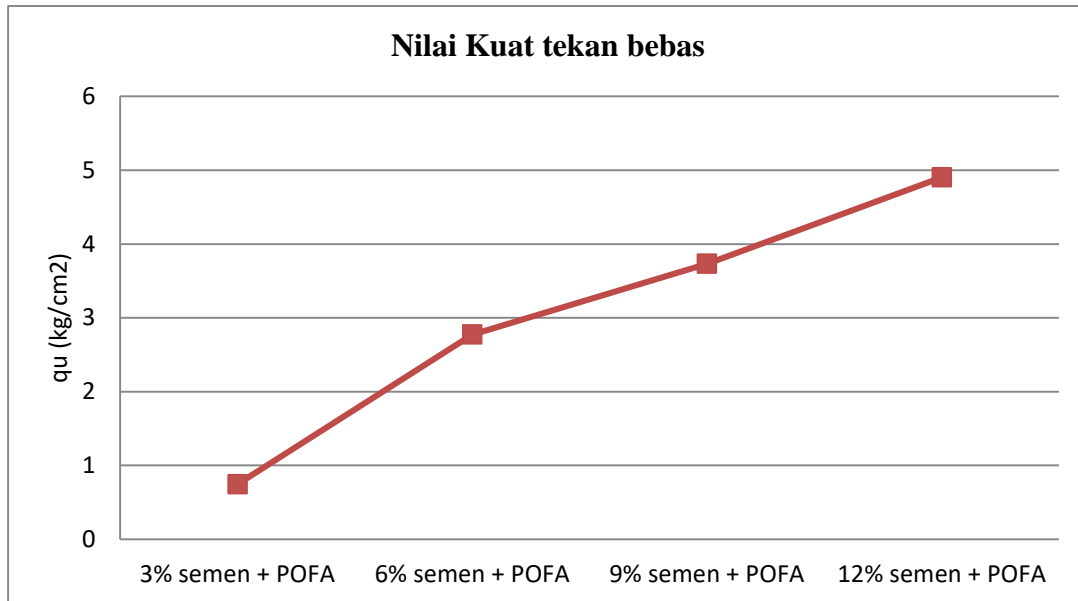
Tabel 5. Rekapitulasi hasil pengujian UCS untuk setiap variasi campuran

Variasi	q _u (kg/cm ²)	c _u (kg/cm ²)
3% semen + POFA	0,748	0,374
6% semen + POFA	2,775	1,388
9% semen + POFA	3,732	1,866
12% semen + POFA	4,903	2,451

Sumber: Hasil Analisa, 2021

Nilai kuat tekan disetiap penambahan semen mengalami peningkatan, hal ini dapat dilihat dari tabel 5 yaitu pada penambahan campuran semen 6% dapat meningkatkan nilai kuat tekan 2 kali lipat dari penambahan 3% semen yaitu sebesar 2,775 kg/cm², penambahan 9% dan 12 % semen mengalami peningkatan nilai kuat tekan yaitu sebesar 3,732 kg/cm² dan 4,903 kg/cm². Grafik

peningkatan nilai kuat tekan (q_u) pada pengujian ini dapat dilihat pada **gambar 5**.



Gambar 5. Nilai kuat tekan setiap variasi penambahan semen

Sumber: Hasil Analisa, 2021

Sejalan dengan hasil pengujian CBR, hasil pengujian UCS juga mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase semen dalam campuran. meningkatnya nilai UCS disetiap pertambahan kadar semen diakibatkan oleh semen sebagai pengikat. Reaksi sementasi yang terjadi pada campuran semen dan POFA menyebabkan terbentuknya butiran yang lebih keras. selain itu penambahan semen juga memperkecil terbentuknya rongga antar butiran sehingga memperbesar stabilitas dan benda uji tidak mudah pecah ketika diberi tekanan vertikal.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Pengujian pengaruh penambahan semen terhadap POFA berdasarkan uji CBR dan UCS telah dilakukan di laboratorium. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian CBR rendaman (*soaked*) di laboratorium menunjukkan bahwa, nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar semen disetiap variasi. hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi sementasi yang membuat material lebih keras sehingga meningkatkan stabilitas. Nilai CBR untuk penambahan 3% yaitu 11,01%,

penambahan 6% semen sebesar 17,38% dan untuk penambahan 9% dan 12% yaitu 21,39% dan 28,01%. Berdasarkan standar Bina Marga (2018) nilai CBR pada penambahan 3% semen yaitu 11,01% dapat digunakan sebagai material timbunan pilihan karena nilai CBR \geq 10%.

2. Berdasarkan pengujian UCS menggunakan sampel *remoulded* diperoleh nilai UCS pada setiap penambahan 3%, 6%, 9% dan 12% semen yaitu 0,748 kg/cm², 2,775 kg/cm², 3,732 kg/cm², dan 4,903 kg/cm². Penambahan kadar semen pada setiap variasi juga berpengaruh terhadap meningkatnya nilai UCS. Sehingga hal ini sejalan dengan hasil pengujian CBR dimana setiap penambahan kadar semen dapat meningkatkan stabilitas material.

5.2. Saran

Dari pengujian yang telah dilakukan di laboratorium ada beberapa hal yang perlu diperhatikan selama proses penelitian di laboratorium dan untuk penyempurnaan pada penelitian selanjutnya yaitu pada proses pencampuran semen dan POFA sebaiknya dilakukan pengadukan secara merata karena homogenitas campuran sangat berpengaruh terhadap nilai CBR dan UCS.

6. Daftar Pustaka

- [1] D. Wesley, *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1997.
- [2] ASTM, *Annual Book of Standart: Soil And Rock; Building Stones; Peats*. vol. 408, 1989.
- [3] Suparma, L. Budi, T. W, Panggabean, and S. Mude, "Potensi Penggunaan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Agregat Pengisi Pada Campuran Hot Rolled Sheet-Base," *Jurnal Transportasi*, vol. 14, pp. 87-96, 2014.
- [4] R. M. Brooks, "Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash," *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, vol. 1, 2009.
- [5] S. Dhakar and S. K. Jain, "Stabilization of Soil Using Flyash, Lime & Cement," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 5, 2016.
- [6] B. D. Nath, M. K. A. Molla, and G. Sarkar, "Study on Strength Behavior of Organic Soil Stabilized with Fly Ash," *International Scholarly Research Notices*, vol. 2017, 2017.
- [7] D. O. Dwina, N. Nazarudin, D. Kumalasari, and E. Fitriani, "Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Penambahan Material Kapur Dan Fly Ash Dari Sisa Pembakaran Cangkang Sawit Sebagai Subgrade Jalan," *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil* vol. 10, pp. 24-32, 2021.
- [8] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2012.
- [9] M. Anggraini and A. Saleh, "Penambahan Abu Tandan Kelapa Sawit dan Semen Terhadap Nilai CBR (California Bearing Ratio) Pada Tanah Lempung," *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, pp. 49-55, 2020.
- [10] *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi III untuk Pekerjaan Tanah dan Geosintetik*, 2018.
- [11] K. Terzaghi and B. P. Peck, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga, 1967.
- [12] E. J. Bowles, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: PT. Erlangga, 1991.
- [13] J. J. Nevile and A. M. Brooks, *Concrete Technology*. England: Education Limited, 2009.
- [14] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*, 6 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1992.
- [15] O. C. Ingles and B. Metcalf, *Soil Stabilization Principles and Practice*. Sydney-Melbourne-Brisbane: Butterworths, 1972.
- [16] W. Tangchirapat, T. Saeting, C. Jaturapitakkul, K. Kiattikomol, and A. Siripanichgorn, "Use of waste ash from palm oil industry in concrete," *Waste Management*, vol. 27, pp. 81-88, 2007.
- [17] K. Abdullah, M. A. Nasly, M. W. Hussin, N. A. A. Nordin, and Z. Zakaria, "Properties of Aerated Concrete Containing Various Amount of Palm Oil Fuel Ash, Water Content and Binder Sand Ratio," *2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering*, pp. 391-395, 2010.
- [18] D. Kumar, N. Kumar, and A. Gupta, "Geotechnical Properties of Fly Ash and Bottom Ash Mixtures in Different Proportions," *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN*, vol. 3, pp. 1487-1494, 2012.
- [19] Safiuddin, A. Salam, and M. Z. Jumaat, "Utilization of palm oil fuel ash in concrete: a review," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 17, pp. 234-247., 2011.
- [20] S. M. Subash and N. Mahendran, "Exploitation of Bottom Ash and Fly Ash in Road Construction," *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, vol. 9, pp. 76-80, 2016.
- [21] W. Tangchirapat and C. Jaturapitakkul, "Strength, Drying Shrinkage, and Water Permeability of Concrete Incorporating Ground Palm Oil Fuel Ash," *Cement & Concrete*

- Composites*, vol. 32, pp. 767-774, 2010.
- [22] J. Bowles, *Analisis dan Desain Pondasi*, 4 ed. vol. 1. Jakarta: Erlangga, 1991.