



DAMPAK PENAMBAHAN SERBUK ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP STABILITAS TANAH LEMPUNG BERPASIR DENGAN METODE DIRECT SHEAR (STUDI KASUS: JALAN TRANS MENTAWAI)

Mulharmanto¹, Selpa Dewi², Zuheldi³

¹²³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi

Korespondensi: mulharmanto76@gmail.com

ABSTRAK

Tanah dasar di sepanjang Jalan Trans Mentawai didominasi tanah lempung berbutir halus yang berdaya dukung rendah, sehingga diperlukan alternatif perbaikan tanah yang ekonomis dan memanfaatkan limbah lokal. Penelitian ini menguji pengaruh penambahan serbuk arang tempurung kelapa terhadap karakteristik pemadatan dan parameter kuat geser tanah lempung berpasir. Sampel tanah diambil di Kecamatan Sipora Selatan, Kabupaten Kepulauan Mentawai, kemudian dicampur dengan serbuk arang tempurung kelapa lolos saringan No. 100 pada kadar 0%, 4%, 8%, 12%, dan 16% terhadap berat kering tanah. Pengujian meliputi sifat fisik tanah asli, pemadatan Proctor standar, dan kuat geser langsung (direct shear) dengan tiga benda uji pada tiap variasi. Tanah asli memiliki kadar air 28,55%, berat jenis 2,591, dan 92,23% lolos saringan No. 200. Berat isi kering maksimum meningkat dari 1,140 g/cm³ (0%) menjadi 1,170 dan 1,175 g/cm³ pada kadar 4% dan 8%, kemudian turun menjadi 1,128 dan 1,075 g/cm³ pada kadar 12% dan 16%, sedangkan kadar air optimum menurun dari 46% menjadi 35%. Kohesi menurun dari 0,4259 kg/cm² (tanah asli) menjadi 0,2322 kg/cm² (16%), dan sudut geser dalam menurun dari 12,24° menjadi 8,17°. Kadar 8% memberikan kepadatan kering tertinggi dan kuat geser tertinggi pada tegangan normal 0,2 kg/cm², tetapi penambahan arang pada rentang yang diuji tidak meningkatkan kohesi maupun sudut geser dibandingkan tanah asli.

Kata kunci: arang tempurung kelapa; stabilisasi tanah; tanah lempung; direct shear; kohesi; sudut geser dalam

ABSTRACT

The subgrade along the Trans-Mentawai Road is dominated by fine-grained clay of low bearing capacity, so an economical improvement method that utilizes local waste is needed. This study examines the effect of adding coconut shell charcoal powder on the compaction characteristics and shear strength parameters of sandy clay soil. Soil samples were taken in South Sipora District, Mentawai Islands Regency, and mixed with charcoal powder passing the No. 100 sieve at 0%, 4%, 8%, 12%, and 16% by dry weight of soil. The tests comprised index properties of the natural soil, standard Proctor compaction, and direct shear tests on three specimens per mixture. The natural soil had a water content of 28.55%, a specific gravity of 2.591, and 92.23% passing the No. 200 sieve. The maximum dry density increased from 1.140 g/cm³ (0%) to 1.170 and 1.175 g/cm³ at 4% and 8%, then decreased to 1.128 and 1.075 g/cm³ at 12% and 16%, while the optimum water content decreased from 46% to 35%. Cohesion decreased from 0.4259 kg/cm² (natural soil) to 0.2322 kg/cm² (16%), and the internal friction angle decreased from 12.24° to 8.17°. A content of 8% gave the highest dry density and the highest shear stress at a normal stress of 0.2 kg/cm², but within the range tested,

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker

No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



charcoal addition did not increase cohesion or friction angle relative to the natural soil.

Keywords: coconut shell charcoal; soil stabilization; clay; direct shear; cohesion; internal friction angle

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan di Kabupaten Kepulauan Mentawai masih terbatas, baik dari sisi panjang maupun kualitas, karena kondisi geografis berupa kepulauan dan pesisir yang membuat masyarakat banyak bergantung pada transportasi laut dengan biaya yang tinggi. Dalam pembangunan jalan di wilayah ini, tanah dasar sering berupa lempung dan lempung berpasir. Tanah lempung bersifat ekspansif, berdaya dukung rendah, mengembang pada musim hujan, dan menyusut pada musim kemarau sehingga perkerasan di atasnya mudah retak dan bergelombang (Hardiyatmo, 2002). Penggantian material tanah dasar dengan material yang didatangkan dari luar daerah membuat biaya konstruksi semakin mahal.

Stabilisasi tanah adalah upaya memperbaiki sifat tanah dengan menambahkan bahan tertentu, antara lain untuk mengubah kekuatan, kuat geser, volume, dan daya tahan tanah. Di Mentawai, stabilisasi selama ini dilakukan dengan semen atau geotekstil, yang mahal dan kurang ramah lingkungan. Di sisi lain, produksi kelapa di kabupaten ini mencapai sekitar 7.800 ton per tahun pada 2022-2024, dan tempurung kelapa sebagai limbah pengolahan kopra belum dimanfaatkan secara optimal. Tempurung kelapa mengandung lignin, selulosa, dan senyawa organik yang menghasilkan arang berpori, sehingga arang tempurung kelapa menarik dikaji sebagai bahan tambah stabilisasi tanah.

Penelitian ini bertujuan (1) mengetahui pengaruh penambahan serbuk arang tempurung kelapa terhadap sifat fisik dan mekanis tanah lempung berpasir, dan (2) membandingkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) tanah asli dengan tanah yang dicampur serbuk arang pada beberapa kadar, sehingga dapat diketahui kadar campuran yang paling sesuai.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Tanah diambil di Kecamatan Sipora Selatan, Kabupaten Kepulauan Mentawai, dikeringkan, lalu disaring dengan saringan No. 4. Arang berasal dari pembakaran tempurung kelapa yang dihaluskan dan lolos saringan No. 100; berat jenis arang tempurung kelapa menurut Rahmadi (2004) adalah $0,5 \text{ g/cm}^3$. Lima variasi benda uji disiapkan, yaitu tanah asli dan tanah asli dengan tambahan arang 4%, 8%, 12%, dan 16% terhadap berat kering tanah.

2.2 Pengujian

Pengujian dilakukan di laboratorium PT. Citra Muda Noer Bersaudara. Sifat fisik tanah asli meliputi kadar air, berat volume, berat jenis, dan analisis saringan. Karakteristik pemadatan diperoleh dari uji Proctor standar untuk setiap variasi campuran, menghasilkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum (γ_d maks). Parameter kuat geser, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), ditentukan dengan uji kuat geser langsung (direct shear) berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Setiap variasi diuji dengan tiga benda uji dan nilai yang dilaporkan adalah rata-rata ketiganya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat fisik tanah asli

Hasil pengujian sifat fisik tanah asli disajikan pada Tabel 1. Sebesar 92,23% butiran lolos saringan No. 200 (Tabel 2), jauh di atas 50%, sehingga tanah tergolong berbutir halus dan didominasi fraksi lempung-lanau.

Tabel 1. Sifat fisik tanah asli

Parameter	Satuan	Nilai
Kadar air	%	28,55
Berat volume	g/cm ³	1,515
Berat jenis (Gs)	-	2,591
Lolos saringan No. 200	%	92,23

Tabel 2. Hasil analisis saringan tanah asli

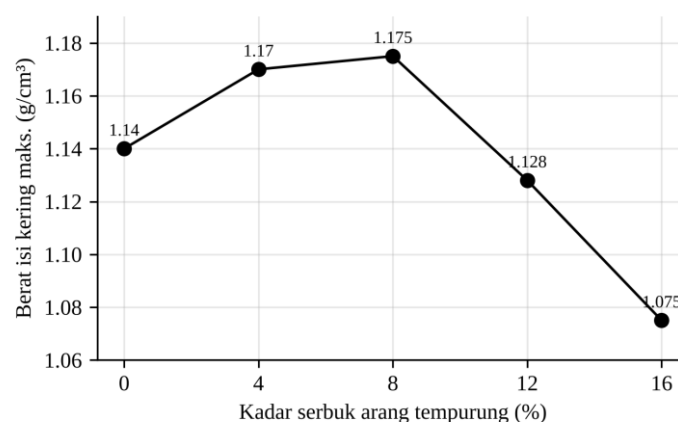
No. saringan	Diameter (mm)	Tertahan (%)	Lolos (%)
4	4,75	0	100
10	2,00	0,67	99,33
20	0,841	1,33	98,67
40	0,420	2,80	97,20
100	0,149	6,37	93,63
200	0,075	7,77	92,23

3.2 Karakteristik pemadatan

Tabel 3 dan Gambar 1 memperlihatkan hasil uji Proctor standar. Penambahan arang sampai 8% menaikkan γ_d maks dari 1,140 g/cm³ menjadi 1,175 g/cm³ (naik sekitar 3,1%). Pada kadar 12% dan 16%, γ_d maks turun menjadi 1,128 dan 1,075 g/cm³, atau masing-masing sekitar 1,1% dan 5,7% di bawah tanah asli. Kadar air optimum turun secara konsisten dari 46% pada tanah asli menjadi 35% pada kadar arang 16%.

Tabel 3. Hasil uji pemadatan Proctor standar

Kadar arang (%)	Kadar air optimum (%)	γ_d maks (g/cm ³)	Perubahan γ_d maks (%)
0	46	1,140	-
4	41	1,170	+2,6
8	37	1,175	+3,1
12	36	1,128	-1,1
16	35	1,075	-5,7



Gambar 1. Hubungan kadar arang tempurung dengan berat isi kering maksimum

Pola naik lalu turun ini dapat dijelaskan secara kualitatif: pada kadar rendah, serbuk arang halus mengisi rongga antarbutir sehingga susunan butiran lebih rapat, tetapi pada kadar tinggi

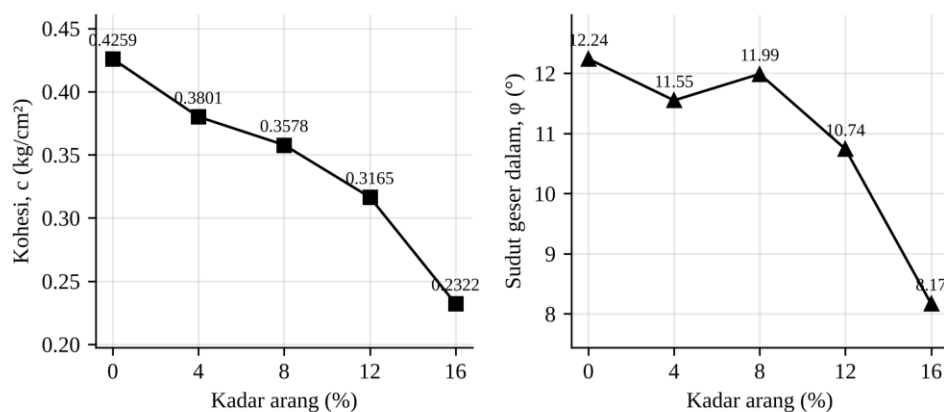
semakin banyak butiran tanah ($G_s = 2,591$) tergantikan oleh arang yang jauh lebih ringan ($\pm 0,5 \text{ g/cm}^3$) sehingga berat isi kering campuran menurun. Penurunan kadar air optimum sejalan dengan sifat arang yang berpori dan tidak plastis, namun mekanismenya belum diverifikasi secara langsung dalam penelitian ini.

3.3 Kuat geser langsung

Hasil uji direct shear (Tabel 4, Gambar 2) menunjukkan kohesi dan sudut geser dalam cenderung menurun seiring bertambahnya kadar arang. Dibandingkan tanah asli ($c = 0,4259 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 12,24^\circ$), kohesi turun 10,8% pada kadar 4%, 16,0% pada 8%, 25,7% pada 12%, dan 45,5% pada 16%. Sudut geser dalam turun 5,6%, 2,0%, 12,3%, dan 33,3% pada kadar yang sama. Sudut geser pada kadar 8% ($11,99^\circ$) sedikit lebih tinggi daripada kadar 4% ($11,55^\circ$), tetapi tetap di bawah tanah asli.

Tabel 4. Parameter kuat geser rata-rata dari uji direct shear

Kadar arang (%)	Kohesi, c (kg/cm^2)	Sudut geser, ϕ ($^\circ$)	Δc (%)	$\Delta \phi$ (%)
0	0,4259	12,24	-	-
4	0,3801	11,55	-10,8	-5,6
8	0,3578	11,99	-16,0	-2,0
12	0,3165	10,74	-25,7	-12,3
16	0,2322	8,17	-45,5	-33,3



Gambar 2. Pengaruh kadar arang tempurung terhadap kohesi (kiri) dan sudut geser dalam (kanan)

Kuat geser pada tegangan normal 0,1; 0,2; dan 0,3 kg/cm^2 ditunjukkan pada Tabel 5. Pada tegangan normal 0,2 kg/cm^2 , kadar 8% menghasilkan kuat geser tertinggi (0,3559 kg/cm^2), sekitar 24% di atas tanah asli (0,2871 kg/cm^2). Namun, keunggulan ini tidak muncul pada tegangan normal 0,1 dan 0,3 kg/cm^2 , dan pada 16% kuat geser terendah di ketiga tingkat tegangan. Dengan demikian, perbaikan pada 8% bersifat terbatas dan tidak konsisten, sehingga tidak dapat disimpulkan bahwa arang meningkatkan kuat geser tanah secara umum.

Tabel 5. Kuat geser (kg/cm^2) pada tegangan normal 0,1; 0,2; dan 0,3 kg/cm^2

Kadar arang (%)	$\sigma = 0,1$	$\sigma = 0,2$	$\sigma = 0,3$
0	0,1423	0,2871	0,3691
4	0,1519	0,2811	0,3426
8	0,1471	0,3559	0,3383
12	0,1399	0,3016	0,3164
16	0,1174	0,2296	0,2383

Penurunan kohesi dan sudut geser diduga terjadi karena arang tempurung bersifat inert dan tidak menimbulkan ikatan sementasi seperti semen atau kapur; partikel arang yang halus dan lunak justru menggantikan butiran tanah dan dapat mengurangi ikatan serta gesekan antarbutir, terutama pada kadar tinggi. Dugaan ini perlu dikonfirmasi dengan uji tambahan, misalnya pengamatan mikrostruktur atau variasi ukuran butir arang. Hasil ini penting dicatat karena menunjukkan bahwa kadar optimum untuk kepadatan (8%) belum tentu menghasilkan kohesi dan sudut geser yang lebih baik.

3.4 Keterbatasan

Penelitian ini hanya menguji satu jenis tanah dengan tiga benda uji per variasi, tanpa pengujian CBR, swelling, dan perawatan (curing) benda uji, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi untuk penerapan lapangan.

4. KESIMPULAN

1. Tanah asli tergolong berbutir halus dengan 92,23% lolos saringan No. 200, kadar air 28,55%, berat volume $1,515 \text{ g/cm}^3$, dan berat jenis 2,591.
2. Penambahan serbuk arang tempurung kelapa sampai 8% meningkatkan berat isi kering maksimum menjadi $1,175 \text{ g/cm}^3$; di atas kadar tersebut nilainya menurun hingga $1,075 \text{ g/cm}^3$ pada 16%, sementara kadar air optimum menurun dari 46% menjadi 35%.
3. Kohesi menurun dari $0,4259 \text{ kg/cm}^2$ menjadi $0,2322 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut geser dalam menurun dari $12,24^\circ$ menjadi $8,17^\circ$ pada kadar 16%. Penambahan arang pada rentang 4-16% tidak meningkatkan kedua parameter tersebut dibandingkan tanah asli.
4. Kadar 8% merupakan kadar paling baik dalam penelitian ini berdasarkan kepadatan kering dan kuat geser pada tegangan normal $0,2 \text{ kg/cm}^2$, tetapi manfaatnya terbatas. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan variasi kadar di sekitar 8% (6-10%), jumlah benda uji lebih banyak, ukuran butir arang yang seragam, serta pengujian CBR, swelling, dan skala lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soils* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I* (edisi ke-3). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Rahmadi (2004). Sifat arang tempurung kelapa (dikutip dalam skripsi penulis; data publikasi lengkap perlu dilengkapi).
- Wesley, L.D. (1977). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.