



Kekuatan dan Ketahanan Serat

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dalam Tanah
Perlakuan dengan Larutan Alkali

Yulian Firmana Arifin | Adriani
Muhammad Hafizhir Ridha

Kekuatan dan Ketahanan Serat

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dalam Tanah
Perlakuan dengan Larutan Alkali

Buku ini ditulis untuk memberikan pemahaman mengenai perlakuan yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan tidak hanya sifat fisik tapi juga sifat mekanik serat alami khususnya serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Buku ini diawali dengan membahas mengenai jenis-jenis serat alami dari tumbuhan yang umumnya digunakan saat ini. Metode-metode yang telah sukses diaplikasikan untuk meningkatkan performa serat alami dan material kompositnya. Mempertimbangkan potensi yang besar limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang sebagian besarnya adalah serat, maka buku ini juga membahas mengenai sifat fisik, kimia, dan mekaniknya. Sebagai bagian terpenting dari buku ini, penggunaan larutan alkali untuk meningkatkan kuat tarik dan daya tahan serat TKKS ketika diperam beberapa waktu dalam tanah. Kuat tarik beberapa serat juga dibahas sebagai bentuk aplikasi ketika serat ini dianyam untuk dibuat material perkuatan tanah.



eureka
media aksara
Anggota IKAPI
No. 225/JTE/2021

0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362



DIREKTORAT JENDERAL KEHAKSAHAN INTELEKTUAL
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA RI
EC002023134595



**KEKUATAN DAN KETAHANAN SERAT
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
(TKKS) DALAM TANAH: PERLAKUAN
DENGAN LARUTAN ALKALI**

**Yulian Firmana Arifin
Adriani
Muhammad Hafizhir Ridha**



eureka
media aksara

PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA

**KEKUATAN DAN KETAHANAN SERAT TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT (TKKS) DALAM TANAH: PERLAKUAN
DENGAN LARUTAN ALKALI**

Penulis : Yulian Firmana Arifin
Adriani
Muhammad Hafizhir Ridha

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Uli Mas'uliyah Indarwati

ISBN : 978-623-120-006-8

No. HKI : EC002023134595

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, DESEMBER 2023**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992
Surel : eurekaediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh
isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun,
termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman
lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

PRAKATA

Buku ini ditulis sebagai lanjutan dari buku sebelumnya mengenai stabilisasi tanah dengan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pada buku tersebut dijelaskan bahwa kekuatan tanah berkurang setelah beberapa waktu dalam tanah. Oleh karena itu, buku ini membahas mengenai cara untuk meningkatkan performa serat alami khususnya serat TKKS.

Buku ajar ini dibagi dalam lima bab, Bab I membahas mengenai serat alami yang ada dan digunakan. Bab II membahas mengenai beberapa metode yang digunakan untuk meningkatkan tidak hanya kekuatan serat tapi juga daya tahannya terhadap lingkungannya. Pada Bab III, buku ini juga membahas mengenai serat TKKS dari morfologi maupun mikroskopiknya. Pada Bab IV, buku ini membahas mengenai penggunaan larutan alkali untuk menstabilisasi serat TKKS dan efeknya terhadap kuat tarik dan daya tahannya dalam tanah. Karena serat ini diaplikasikan dalam bentuk anyam, maka serat tidak sehelai tapi beberapa helai. Bab V membahas mengenai pengaruh jumlah serat terhadap kuat tariknya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga buku ini dapat hadir dihadapan pembaca.

Banjarbaru, November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 SERAT ALAMI	1
A. Klasifikasi Serat	1
B. Komponen dan Morfologi Serat Alami	3
C. Jenis-Jenis Serat Tumbuhan.....	4
BAB 2 PERLAKUAN SERAT ALAMI	17
A. Modifikasi Permukaan dengan Perlakuan Kimia	17
B. Perlakuan dengan Alkali	18
C. Perlakuan dengan Permanganate	20
D. Perlakuan dengan Silane	20
E. Perlakuan dengan Asetilen.....	21
F. Perlakuan dengan peroksida.....	21
G. Perlakuan dengan bahan lainnya.....	23
BAB 3 TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT	25
A. Morfologi Serat TKKS	25
B. Sifat fisik, mekanik, dan kimia serat TKKS	27
C. Mekanisme Interaksi Tanah dan Serat	28
BAB 4 PERLAKUAN ALKALI TERHADAP KUAT TARIK SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT	31
A. Perlakuan serat TKKS dengan NaOH	33
B. Kuat Tarik Serat TKKS dengan Perlakuan NaOH.....	34
C. Pengaruh Waktu terhadap Kuat Tarik	37
D. Kuat Tekan Campuran Tanah dan Serat	39
E. Morfologi Permukaan Serat TKKS: Pengaruh Alkali...40	
BAB 5 JUMLAH SERAT DAN KUAT TARIK SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT	44
A. Serat TKKS dan Metode Perlakuan yang Dilakukan ...45	
B. Kuat Tarik Beberapa Serat TKKS	46
C. Mikroskopik Serat TKKS	50

DAFTAR PUSTAKA	52
GLOSARIUM	58
TENTANG PENULIS	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Klasifikasi serat	2
Gambar 1.2	Struktur serat tumbuhan (atas) dan struktur organisasi senyawa dalam dinding sel serat (bawah) ..	4
Gambar 1.3	Sumber serat dari Tumbuhan (a) sisal, (b) cotton, (c) jute, (d) bamboo, (e) kayu, (f) kelapa, dan (g) pisang ..	5
Gambar 1.4	(a) Tanaman jute, (b) batang dan serat jute, (c) batang yang direndam untuk pemisahan serat, dan (d) proses penjemuran serat setelah perendaman	7
Gambar 1.5	Tumbuhan sisal (<i>Agave Sisalana</i>) dan proses penjemuran seratnya	8
Gambar 1.6	(a) tanaman cotton, (b) panen cotton secara tradisional, dan (c) panen cotton modern dengan mesin	9
Gambar 1.7	(a) Tumbuhan bambu dan (b) serat bambu	10
Gambar 1.8	(a) Pelepah pisang dan (b) serat tumbuhan pisang ...	11
Gambar 1.9	Buah kelapa (a) bagian luar dimana terdapat serat, dan (b) serat kelapa	12
Gambar 1.10	(a) Tumbuhan <i>flax</i> hidup, (b) tumbuhan yang telah dikeringkan, dan (c) serat <i>linen</i> yang dihasilkan	13
Gambar 3.1	Sketsa buah kelapa sawit	26
Gambar 3.2	(a) Potongan melintang serat TKKS, dan (b) foto memanjang serat TKKS (Arifin et al., 2022)	26
Gambar 3.3	Foto serat secara acak dalam tanah	28
Gambar 3.4	Interaksi permukaan serat dengan tanah	29
Gambar 3.5	Detil interaksi serat dan tanah	30
Gambar 4.1	Stress-strain serat TKKS yang dilakukan perlakuan NaOH (treated) dan tidak (untreated)	35
Gambar 4.2	Kurva Stress-strain serat setelah diperam dalam tanah 1-28 hari (a) kondisi terbuka, dan (b) kondisi tertutup	37
Gambar 4.3	Kuat tarik sebagai fungsi waktu pemeraman	38
Gambar 4.4	Tegangan dan regangan tanah yang ditambahkan serat 1-7 hari	40
Gambar 4.5	Ujung serat (a) sampel tanpa perlakuan, dan (b) sampel dengan perlakuan NaOH	42

Gambar 4.6	Permukaan mikroskopik memanjang serat TKKS (a) sampel tanpa perlakuan NaOH, dan (b) dengan perlakuan	42
Gambar 4.7	Tampilan mikroskopik ujung serat TKKS (kiri) tanpa perlakuan NaOH dan (kanan) dengan perlakuan ..	43
Gambar 5.1	Tensile stress rata-rata dan strain serat TKKS (a) 1 batang serat, (b) 2 batang serat, dan (c) 4 batang serat	47
Gambar 5.2	Kuat tarik serat rata-rata dan kelompok serat sebagai fungsi waktu (a) serat yang diperlakukan NaOH, dan (b) serat tanpa perlakuan.....	48
Gambar 5.3	Ujung serat TKKS (kiri) tanpa perlakuan, dan (kanan) direndam NaOH.....	50
Gambar 5.4	Permukaan serat TKKS (kiri) tanpa perlakuan NaOH, dan (kanan) dengan perlakuan.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Serat dari Tumbuhan dan sumbernya (Chand & Fahim, 2008)	6
Tabel 1.2 Perbedaan antara softwood dan hardwood (Djati et al., 2015)	11
Tabel 1.3 Sifat mekanik serat alami	14
Tabel 1.4 Keuntungan dan kerugian penggunaan serat alami (Cagrl Uyanik & Tamer Erturk, 2023)	15
Tabel 1.5 Sifat fisik dan mekanik serat alami lainnya (Kenned et al., 2021)	16
Tabel 2.1 Perlakuan serat dengan NaOH (Kenned et al., 2021)	19
Tabel 2.2 Perlakuan dengan asetilen dan tipe material kompositnya	22
Tabel 2.3 Perlakuan serat alami berdasarkan material kompositnya	23
Tabel 4.1 Kuat tarik serat yang diberi perlakuan	36
Tabel 5.1 Rangkuman uji kuat tarik	49

BAB

1

SERAT ALAMI

Banyak penelitian saat ini difokuskan pada penggunaan serat dari tumbuhan dan memodifikasinya sehingga dapat dipakai langsung maupun ditambahkan material lain sebagai komposit. Secara umum, serat alami adalah serat lignoselulosa yang merupakan komponen polisakarida di alam yang berlimpah dan terdiri atas tiga tipe polimer, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Keuntungan menggunakan serat alami antara lain dapat terurai secara alami, ekonomis dan tersedia dalam jumlah banyak, serta memiliki sifat yang sebanding dengan serat sintetis. Disamping itu, proses untuk mendapatkan serat ini dapat membuka lapangan pekerjaan atau usaha bagi masyarakat khususnya pedesaan. Sebagian serat alami juga merupakan material sisa produksi seperti produksi minyak kelapa sawit.

Penggunaan serat alam ini juga merupakan salah satu upaya menuju *green building*. Berdasarkan *World Green Building Council*, *green building* adalah sebuah bangunan yang didesain, dilaksanakan, mengurangi dampak negatif dan menciptakan dampak positif terhadap iklim dan lingkungan. *Green building* juga dimaksudkan penggunaan material yang aman dan berkelanjutan (Abdalla et al., 2023).

A. Klasifikasi Serat

Secara umum, serat terbagi atas dua golongan besar yaitu serat alami dan serat buatan (Gambar 1.1). Terlihat pada gambar tersebut, serat buatan terbagi atas 3 kelompok, yaitu *regenerated*, *polymer* dan *non polymer*. Serat regenerasi atau buatan adalah

BAB

2

PERLAKUAN SERAT ALAMI

Seperti terlihat pada Tabel 1.3 dan Tabel 1.5, sifat fisik dan mekanik serat alami ini sangat beragam. Ini tentunya mempengaruhi penggunaannya termasuk ketika digunakan sebagai material komposit dengan yang lain. Oleh karena itu, perlakuan terhadap serat alami sangat penting untuk dipelajari dan diaplikasikan pada setiap tipe serat ini.

A. Modifikasi Permukaan dengan Perlakuan Kimia

Komponen-komponen serat yang penting yang mempengaruhi sifat mekaniknya adalah komposit antara serat dan matriksnya. Ketika serat menerima beban, maka serat tersebut menahan beban yang bekerja sedangkan matriks mentransfer beban kepada serat-serat tersebut (Kenned et al., 2021). Antarmuka serat dan matriks harusnya memiliki kekuatan yang cukup tanpa mengakibatkan terjadi retak dan kerusakan baik dipermukaan maupun di bagian dalam serat ketika beban diberikan.

Kuat tarik serat bahkan dipengaruhi oleh sifat permukaannya. Pori dan bagian amorf serat mampu menyerap air yang dipercaya dapat mengakibatkan penurunan kuat tarik serat. Perbaikan permukaan dengan bahan kimia akan mengurangi kemampuan serat untuk menyerap air. Tapi, perbaikan permukaan juga dapat mengakibatkan pengurangan *adhesi* permukaan serat dengan material kompositnya. Oleh

BAB

3

TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Serat tandang kosong kelapa sawit (TKKS) atau *oil palm empty fruit bunch* (OPEFB) merupakan produk sisa dari pabrik minyak kelapa sawit. Dilihat dari klasifikasi serat, serat ini diambil dari tumbuhan bagian tangkai buahnya (tandan kosong). Setelah pemisahan buah dari produksi minyak kelapa sawit, tandan ini di arahkan keluar dari pabrik dengan ban berjalan. TKKS ini adalah serat selulosa yang tersedia dalam jumlah banyak. Total 49.71 juta ton produksi minyak sawit di Indonesia di tahun 2021, berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan (DJP, 2021). Produksi minyak sawit ini terus bertambah dari tahun ke tahun dengan rata-rata penambahan 9,88%. Di Kalimantan Selatan, diproduksi 1,6 juta ton minyak kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit ini merupakan sisa dari bagian tandannya dengan komposisi 25% (w/w) tandan keseluruhan sebelum diproses (Santi et al., 2018). Jumlah ini memperlihatkan tingginya jumlah tandan kosong yang dihasilkan dari produksi minyak kelapa sawit.

TKKS terdiri atas beberapa bagian yaitu *stalk* dan *spikelets* (Gambar 2.2) dengan komposisi 20–25% *stalk* dan 70–80% *spikelets*. Selama ini, TKKS digunakan untuk bahan bakar atau dibawa kembali ke kebun kelapa sawit menjadi pupuk.

A. Morfologi Serat TKKS

Permukaan serat TKKS terlihat berpori, kaku, dan di beberapa bagian terlihat ada bagian yang menonjol (*Silica bodies*). Diameter pori serat TKKS berkisar sekitar 0,7 mm dan ikatannya

BAB

4

PERLAKUAN ALKALI TERHADAP KUAT TARIK SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Interaksi antara tanah dan serat sangat menarik dipelajari dalam memperbaiki sifat goeteknik tanah. Kuat geser tanah yang diperkuat serat memiliki dua komponen, meliputi kuat geser matrix tanah dan tegangan tarik yang berkerja dalam serat (Li & Zornberg, 2013). Disamping itu, Kontribusi serat pada peningkatan kuat geser diakibatkan oleh ikatan tanah dan serat pada mekanisme tarik keluar dan kuat tarik serat itu sendiri (Diambra & Ibraim, 2014). Mekanisme ini menjelaskan interaksi tanah dan serat secara umum, dimana kemungkinan interaksi lain terjadi antara tanah dan serat khususnya serat alami. Serat alami menyerap lebih banyak air dari pada tanah (Ashour & Wu, 2010; Arifin et al., 2019b).

Pada tanah lunak, ditemukan bahwa gesekan antara permukaan serat dengan tanah lebih dominan mempengaruhi penambahan kekuatan tanah setelah dicampur dengan serat (Arifin et al., 2022). Bagaimanapun, kekuatan serat tetap merupakan parameter penting yang harus diuji terutama untuk melihat ketahanannya setelah digunakan dalam waktu lama di dalam tanah. Kekuatan serat berkurang 50% setelah 14 hari di dalam tanah dan hanya 25% kekuatannya yang disarankan digunakan dalam jangka waktu lama (lebih dari 90 hari) (Arifin et al., 2022). Degradasi serat alami menjadi isu penting dalam penggunaannya sebagai material konstruksi khususnya tanah yang cenderung lembab dan kondisinya berubah-ubah. Oleh karena itu, perlu upaya untuk mempertahankan kekuatan tersebut dengan memberikan perlakuan sebelum digunakan dalam tanah. Diharapkan ketahanannya dalam

BAB

5

JUMLAH SERAT DAN KUAT TARIK SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Beberapa usaha untuk memanfaatkan serat alami sebagai material konstruksi sudah banyak dilakukan. Serat alami ini diharapkan untuk menambah kekuatan material komposit dimana serat tersebut ditambahkan pada bahan lain seperti beton (Abdalla et al., 2023; Hamada et al., 2023). Salah satu serat yang sudah mulai diteliti penggunaannya adalah serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Serat ini dikategorikan sebagai serat alami yang berasal dari tumbuhan yang diambil dari buahnya (Abdalla et al., 2023). Ada tantangan dalam penggunaan TKKS fiber ini pada beton karena sifatnya yang menyerap banyak air dan *hydropilic* (Hamada et al., 2023). Bagaimanapun jika diaplikasikan untuk stabilisasi tanah, kedua sifat ini menguntungkan karena ketika air dapat diserap, kadar air tanah berkurang sehingga tanah menjadi mudah dipadatkan (Arifin et al., 2020; Arifin et al., 2019b).

Salah satu komponen yang penting dalam penggunaan serat alami sebagai material konstruksi adalah kuat tariknya. TKKS fiber memiliki kuat tarik yang sangat tinggi. Kuat tarik ini sangat bervariasi antara satu pohon dengan pohon yang lain dengan nilai antara 21-260 MPa (Rama Rao & Ramakhrisna, 2022). Oleh karena itu, kuat tarik serat TKKS disuatu lokasi yang akan digunakan penting diketahui sebelum digunakan (Arifin et al., 2022).

Dalam komposit, serat ini tidak bekerja sebagai single fiber akan tetapi bersama satu serat dengan serat yang lain. Kondisinya

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., Bahurudeen, A., Jyothsna, G., Sofi, A., Shanmugam, V., & Thomas, B. S. (2023). A comprehensive review on the use of natural fibers in cement/geopolymer concrete: A step towards sustainability. *Case Studies in Construction Materials*, 19(June), e02244. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02244>
- Arifin, Y.F., Misnawati, M., & Ridha, M. (2020). Laboratory Compaction Method of Soft Clay and Natural Plant Fiber/Shell Mixtures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 499(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/499/1/012002>
- Arifin, Y F, Arsyad, M., Siswanto, R., Astawa, I. K. T. F., Ridha, M. H., & Ramadhani, M. R. (2022). Tensile Strength and Durability of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber in Soft Soil. *International Journal of GEOMATE*, 23(99), 72–81. <https://doi.org/10.21660/2022.99.3610>
- Arifin, Y F, Siswanto, R., Arsyad, M., Shintia, N., Ridha, M. H., & Ramadhani, M. R. (2023). Equipment for Testing the Tensile Strength of Natural Fibers: Design and Implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1184(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1184/1/012002>
- Arifin, Yulian Firmana, Misnawati, M., & Normelani, E. (2019a). The use of natural fiber from oil palm empty fruit bunches for soft soil stabilization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 669(1), 2–10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/669/1/012026>
- Arifin, Yulian Firmana, Misnawati, M., & Normelani, E. (2019b). The use of natural fiber from oil palm empty fruit bunches for soft soil stabilization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 669(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/669/1/012026>

- Arifin, Yulian Firmana, Misnawati, M., & Ridha, M. (2020). Laboratory Compaction Method of Soft Clay and Natural Plant Fiber/Shell Mixtures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 499(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/499/1/012002>
- Ashour, T., & Wu, W. (2010). The influence of natural reinforcement fibers on erosion properties of earth plaster materials for straw bale buildings. *Journal of Building Appraisal*, 5(4), 329–340. <https://doi.org/10.1057/jba.2010.4>
- ASTM-D2166-06. (2013). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. *ASTM International, West Conshohocken, PA., May, 7*. https://doi.org/10.1520/D2166_D2166M-13
- Ayeldeen, M., Azzam, W., & Arab, M. G. (2022). The Use of Fiber to Improve the Characteristics of Collapsible Soil Stabilized with Cement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 40(4), 1873–1885. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01997-4>
- Batani, F. (2015). Stabilization Mechanisms of Oil Palm Empty Fruit Bunch (Opefb) Fibre Reinforced Silty Sand. *Journal of Civil and Environmental Research*, 5(11), 20–27.
- Bhat, I.-H., Abdul Khalil, H. P. S., Ismail, H., & Alshammari, T. (2011). Morphological, Spectroscopic, and Thermal Properties of Alkali-Treated and Chemically Modified Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers and Oil Palm Frond Fibers: A Comparative Study. *BioResources*, 6(4), 4673–4685.
- Brahmachary, T. K., Ahsan, M. K., & Rokonzaman, M. (2019). Impact of rice husk ash (RHA) and nylon fiber on the bearing capacity of organic soil. *SN Applied Sciences*, 1(3), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0275-0>
- Cagrl Uyanik, M., & Tamer Erturk, A. (2023). Recent Developments of Natural Fibres: Natural Fibre Biocomposites, Treatments, and Characterizations. *Journal of Physics: Conference Series*, 2549(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2549/1/012001>

- Chand, N., & Fahim, M. (2008). Natural fibers and their composites. In *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites* (pp. 1–58). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. <https://doi.org/10.1533/9781845695057.1>
- Danso, H. (2017). Properties of Coconut, Oil Palm and Bagasse Fibres: As Potential Building Materials. *Procedia Engineering*, 200, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.002>
- Diambra, A., & Ibraim, E. (2014). Modelling of fibre-cohesive soil mixtures. *Acta Geotechnica*, 9(6), 1029–1043. <https://doi.org/10.1007/s11440-013-0283-y>
- Djati, I. D., Tauchi, T., Kubo, M., & Terauchi, F. (2015). Sapwood of young teak from thinning as potential material for making products Case Study: Sapwood of Young Teak from Teak Plantation in Java, Indonesia. *Bulletin of Japanese Society for the Science of Design*, 61(5), 5_77-5_86. <https://doi.org/10.11247/jssdj.61.5>
- DJP. (2021). *Produksi Kelapa Sawit Menurut Provinsi di Indonesia , 2017-2021*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. <https://www.pertanian.go.id/>
- DJP. (2022). Statistical of National Leading Estate Crops Commodity 2020-2022. In *Direktorat Jendral Perkebunan, Kementerian Pertanian, Indonesia*.
- Hairul, A. (2010). Studi Kekuatan Tarik dan Sifat Fisik Serat Cyathea contaminans Sebelum dan Setelah Mengalami Perlakuan Alkali NaOH. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 1(33), 77–80.
- Hamada, H. M., Shi, J., Al Jawahery, M. S., Majdi, A., Yousif, S. T., & Kaplan, G. (2023). Application of natural fibres in cement concrete: A critical review. *Materials Today Communications*, 35(June). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105833>
- Kenned, J. J., Sankaranarayanan, K., & Kumar, C. S. (2021). Chemical, biological, and nanoclay treatments for natural plant fiber-reinforced polymer composites: A review.

- Polymers and Polymer Composites*, 29(7), 1011–1038.
<https://doi.org/10.1177/0967391120942419>
- Kozłowski, R. M., & Mackiewicz-Talarczyk, M. (2012). Introduction to natural textile fibres. In *Handbook of Natural Fibres*. Woodhead Publishing Limited.
<https://doi.org/10.1533/9780857095503.1>
- Li, C., & Zornberg, J. G. (2013). Mobilization of Reinforcement Forces in Fiber-Reinforced Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(1), 107–115.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0000745](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000745)
- Norul Izani, M. A., Paridah, M. T., Anwar, U. M. K., Mohd Nor, M. Y., & H'Ng, P. S. (2013). Effects of fiber treatment on morphology, tensile and thermogravimetric analysis of oil palm empty fruit bunches fibers. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1251–1257.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.07.027>
- Rama Rao, P., & Ramakhrisna, G. (2022). Oil palm empty fruit bunch fiber: surface morphology, threatment, and suitability as reinforcement in cement composites-A state of the art review. *Clear Materials*, 6(100144).
- Rama Rao, P., & Ramakrishna, G. (2022). Oil palm empty fruit bunch fiber: surface morphology, treatment, and suitability as reinforcement in cement composites- A state of the art review. *Cleaner Materials*, 6(September), 100144.
<https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100144>
- Santi, L. P., Kalbuadi, D. N., & Geonadi, D. H. (2018). Empty Fruit Bunches As a Potential Source for Biosilica Fertilizer for Oil Palm. *Semnas Biologi Tropika: Pemanfaatan Biodiversitas Tropika Untuk Mewujudkan Bio-Based Economy*, July, 1–12.
- Sayakulu, N. F., & Soloi, S. (2022). The Effect of Sodium Hydroxide (NaOH) Concentration on Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Cellulose Yield. *Journal of Physics: Conference Series*, 2314(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2314/1/012017>

- Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S., & Kochubabu, M. (2011). Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 7-22. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.009>
- Spritzer, J. M., Khachan, M. M., & Bhatia, S. K. (2015). Influence of Synthetic and Natural Fibers on Dewatering Rate and Shear Strength of Slurries in Geotextile Tube Applications. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(3), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40891-015-0027-1>
- Tang, C. S., Shi, B., & Zhao, L. Z. (2010). Interfacial shear strength of fiber reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(1), 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2009.10.001>
- Tomšič, B., Marković, D., Janković, V., Simončič, B., Nikodinovic-Runic, J., Ilic-Tomic, T., & Radetić, M. (2022). Biodegradation of cellulose fibers functionalized with CuO/Cu₂O nanoparticles in combination with polycarboxylic acids. *Cellulose*, 29(1), 287-302. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04296-6>
- Tsabitah, S., Omar, A. A., & Ismail, L. (2014). Chemical pretreatment comparison for oil palm empty fruit bunch: A review. *Applied Mechanics and Materials*, 625, 851-855. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.625.851>
- Witayakran, S., Kongtud, W., Boonyarit, J., Smitthipong, W., & Chollakup, R. (2017). Development of oil palm empty fruit bunch fiber reinforced epoxy composites for bumper beam in automobile. *Key Engineering Materials*, 751 KEM, 779-784. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.751.779>
- Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y., & Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering. *Materials*, 13(7), 1-21. <https://doi.org/10.3390/MA13071774>

- Xiang, L. Y., Hanipah, S. H., Mohammed, M. A. P., Baharuddin, A. S., & Lazim, A. M. (2015). Microstructural, mechanical, and physicochemical behaviours of alkali pre-treated oil palm stalk fibres. *BioResources*, 10(2), 2783–2796. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2783-2796>
- Yunos, N. S. H. M., Baharuddin, A. S., Md Yunos, K. F., Hafid, H. S., Busu, Z., Mokhtar, M. N., Sulaiman, A., & Som, A. M. (2015). The physicochemical characteristics of residual oil and fibers from oil palm empty fruit bunches. *BioResources*, 10(1), 14–29. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.14-29>

GLOSARIUM

Absorpsi	: penyerapan adalah fenomena fisika atau kimia atau suatu proses di mana atom, molekul atau ion memasuki fase ruang-bahan cair atau padat
Aditif	: bahan-bahan yang biasanya ditambahkan pada material tertentu dalam proses pengolahan atau penyimpanan dengan tujuan untuk menguatkan, mengawetkan, dan lain-lain.
Biomassa	: material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuh-tumbuhan, hewan dan produk sampingnya seperti sampah kebun, hasil panen dan sebagainya.
Bipolar	: dua kutub
Boiler	: suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk memproduksi steam/uap. Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja.
Chuck drill	: salah satu alat bantu pengecam/ pengikat alat potong pada proses pembubutan diantaranya untuk mencekam/ mengikat: senter bor (centre drill), mata bor (twist drill), rimer (reamer), konterbor (counter bore), dan kontersing (counter sink).
Confining pressure	: tekanan sekitar/ sekelilingnya
CT Scan	: computerized tomography scan
Deformasi	: perubahan bentuk struktur akibat adanya gaya dari luar maupun dari dalam.

Deviator	: jari-jari tegangan lingkaran Mohr dan besarnya tegangan geser maksimum pada lingkaran Mohr yang sesuai dengan tegangan normal rata-rata $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$.
Dial gauge	: alat ukur ini digunakan untuk mengukur serta memeriksa kerataan pada sebuah bidang atau benda. Skala pengukurannya sendiri sangat kecil.
Digital force gauge	: Alat pengukur gaya dalam bentuk digital
Durabilitas flexural modulus	: ketahanan terhadap pengaruh luar : Sifat intensif yang dihitung sebagai rasio tegangan terhadap regangan dalam deformasi lentur, atau kecenderungan suatu bahan untuk menahan tekukan.
Fly ash	: partikel halus (berupa abu) sisa hasil pembakaran batubara, abu yang naik dan terbang disebut fly ash sedangkan yang tidak naik disebut bottom ash.
Fraksi tanah	: jenis-jenis tanah yang umumnya digunakan dalam istilah pertanian. Menurut USDA (United State Departement of Agriculture), ada 7 fraksi yaitu : pasir sangat kasar, pasir kasar, pasir sedang, pasir halus, pasir sangat halus, debu dan liat.
Geogrid	: produk geosintetik yang terdiri dari jaringan yang beraturan dan terhubung satu sama lainnya. Material ini berbentuk lembaran dengan lubang-lubang seperti frame yang fungsinya sebagai tulangan untuk memperkuat struktur tanah.

Geosintetik	: Suatu produk berbentuk lembaran yang terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan dengan tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem. Istilah geosintetik itu sendiri terdiri dari dua bagian, yaitu geo yang berarti berhubungan dengan tanah dan sintetik yang berarti bahan buatan manusia.
Hemiselulosa	: merupakan suatu polisakarida lain yang terdapat dalam tanaman dan tergolong senyawa organik.
Hidrofobik	: zat yang yang susah bercampur dengan air, misalnya minyak.
Hidrolisis	: reaksi kimia antara air dengan suatu zat lain yang menghasilkan satu zat baru atau lebih dan juga menyebabkan suatu larutan terdekomposisi dengan menggunakan air. Reaksi hidrolisis pada umumnya merupakan reaksi endoterm (memerlukan kalor).
Hydromorphic	: Jenis tanah yang terbentuk dan berkembang di bawah pengaruh air secara terus menerus
Kalsinasi	: proses pemanasan batu kapur untuk membebaskan CO ₂ sehingga menghasilkan CaO. Proses kalsinasi mempunyai mekanisme yang kompleks dan melibatkan beberapa tahap yang dimulai dengan transfer panas ke permukaan partikel dan melewati lapisan terluar batu kapur.
Kohesif	: gaya tarik menarik antara material sejenis.

Lignin	: komponen utama penyusun dinding sel kayu, kedua terbanyak setelah selulosa. Lignin terdapat diantara sel-sel yang berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel bersama-sama, dan di dalam dinding sel yang seringkali berasosiasi dengan selulosa untuk memberikan ketegaran pada sel.
Ligno selulosa	: komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan.
Load frame	: rangka yang biasa digunakan untuk menerapkan beban pada benda uji
Material anorganik	: senyawa yang kebanyakan berasal dari sumber daya alam mineral, hanya sedikit yang unsur penyusun utamanya berasal dari karbon, tidak mudah terbakar, mampu terionisasi, bersifat elektrolit, dan memiliki ikatan ion dan kovalen.
Modulus Young	: perbandingan antara tegangan dengan regangan, dirumuskan $E = \sigma/e$, dimana (σ) adalah tegangan dan (e) adalah regangan
Montmorillonite	: Mineral lempung yang merupakan mineral aluminosilikat (Al-silikat) yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan berbagai produk di berbagai industri, salah satunya sebagai katalis, penyangga katalis, dan juga sebagai perkuatan. Di bidang geoteknik, material ini digunakan sebagai material dasar pembuatan <i>clay liner</i> atau lumpur untuk tiang bor.

Palm Kernel shell ash	: Abu cangkang kelapa sawit yang telah mengalami proses penggilingan dari kerak pada proses pembakaran cangkang pada suhu 300 - 500 derajat Celcius.
Palm Kernel shell	: Cangkang kelapa sawit
Plasticity index	: Indeks plastisitas (PI) merupakan selisih antara nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL)
Polimer	: molekul raksasa (makromolekul) yang terbentuk dari susunan ulang ratusan bahkan ribuan molekul sederhana yang disebut monomer. Oleh karena itu polimer mempunyai massa molekul relatif sangat besar.
Pozzolan	: bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina. Jika dicampur air, maka pozzolan tersebut akan membentuk kalsium hidroksida.
Pullout test	: metode yang digunakan untuk mengukur besarnya gaya maksimum yang dibutuhkan untuk mencabut suatu material yang terpasang pada material lain.
Relative humidity	: persentase perbandingan antara jumlah uap air dalam udara saat pengukuran dengan jumlah uap air maksimum yang dapat ditampung oleh udara tersebut. Kelembapan mutlak/absolut berarti berat uap air dalam satuan gram pada satu meter kubik udara.
Resin	: salah satu bahan campuran dalam GRP atau nama lainnya adalah <i>Glass-reinforced Plastic</i> .

Selulosa	: polisakarida yang dihasilkan oleh sitoplasma sel tanaman yang membentuk dinding sel
Silica bodies	: Tonjolan alami ini adalah hasil dari pengendapan silika dari tanah ke daun dan batang tanaman.
Straw	: tangkai, biasanya produk limbah gandum, yang digunakan sebagai tempat tidur hewan lumbung
Sub-base (jalan)	: lapisan perkerasan perkerasan jalan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapisan pondasi atas
Subgrade	: lapisan tanah paling bawah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan
Subsoil	: Sub lapisan tanah
Suction	: Tegangan air pori negatif
Tahanan internal	: Tahanan yang terdapat dalam material itu sendiri.
UV	: inar ultraviolet yang merupakan bagian gelombang elektromagnetik dari energi radiasi matahari pada gelombang 100-400 nm.
Vessels	: sejenis sel angiospermae yang terspesialisasi dan maju yang mengalirkan air dan mineral di dalam tumbuhan. Mereka lebih lebar dan berbentuk silinder.
Water proof	: kedap air, tahan air, atau secara detailnya yaitu tingkat ketahanan terhadap air yang biasanya diukur dalam satu Ingress Protection atau IP.

Woven (geosintetik) : material geosynthetic yang dibuat dengan mencampur dan menenun serat

TENTANG PENULIS



Yulian Firmana Arifin lahir di Banjarmasin, 19 Juli 1975. Dia menyelesaikan pendidikan S1 di bidang Teknik Sipil tahun 1998 dari Universitas Lambung Mangkurat, S2 di bidang Geoteknik tahun 2001 dari Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, dan S3 di bidang Geoteknik tahun 2008 dari Bauhaus Universitaet Weimar Jerman. Di

tahun 2018, dia menyelesaikan Pendidikan Profesi Insinyur dari Universitas Lambung Mangkurat. Sejak tahun 2001, dia mengajar matakuliah Mekanika Tanah, Desain Pondasi, Penyelidikan Tanah, dan Perkuatan Tanah Lunak. Sejak tahun 2010, dia mulai meneliti penggunaan material sisa sebagai bahan stabilisasi tanah khususnya tanah lunak dan telah mempublikasikan hasil-hasil penelitiannya di beberapa jurnal internasional bereputasi. Pada organisasi profesi, dia menjabat pengurus Persatuan Insinyur Indonesia (PPI) Cabang Banjarbaru, anggota ASEAN Engineering Register (AER), dan ketua Komda Kalsel Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI). Saat ini, dia juga menjadi ketua Pusat Studi Material Berbasis Lahan Basah Universitas Lambung Mangkurat.



Adriani lahir di Gambut, 15 Januari 1962. Dia menyelesaikan pendidikan S1 di bidang Teknik Sipil tahun 1990 dari Universitas Lambung Mangkurat. Setelah menjadi dosen di Program Teknik Sipil di universitas yang sama, dia melanjutkan studi magister di bidang yang sama dengan keahlian geoteknik di Institut Teknologi Bandung dan lulus tahun

1995. Sejak lulus sarjana, dia terlibat pada banyak proyek pembangunan sebagai ahli geoteknik khususnya penanganan longsor, perkuatan tanah, perancangan pondasi khususnya

jembatan. Dia mengajar di Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat khususnya matakuliah bidang geoteknik seperti Mekanika Tanah, Desain Pondasi, Perkuatan Tanah dan Penyelidikan Tanah. Dia pernah menjabat sebagai kepala Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lambung Mangkurat.



Muhammad Hafizhir Ridha lahir di Banjarmasin, 16 Oktober 2000. Dia menyelesaikan pendidikan sarjana di bidang Teknik Sipil tahun 2022 dari Universitas Lambung Mangkurat. Dia menekuni penelitian bidang geoteknik khususnya penggunaan serat untuk perkuatan tanah lunak. Saat ini, dia bekerja sebagai konsultan individu di Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Provinsi Kalimantan Selatan dan dalam proses menyelesaikan Program Magister Teknik Sipil di Universitas Lambung Mangkurat.



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC002023134595, 18 Desember 2023

Pencipta
Nama : **Yulian Firmana Arifin, Adriani dkk**
Alamat : Jl. Permata B11 RT 23 RW-004 Banjarbaru 70714, Banjar Baru Selatan, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta
Nama : **Yulian Firmana Arifin, Adriani dkk**
Alamat : Jl. Permata B11 RT 23 RW-004 Banjarbaru 70714, Banjar Baru Selatan, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : **Buku**
Judul Ciptaan : **Kekuatan Dan Ketahanan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dalam Tanah: Perlakuan Dengan Larutan Alkali**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 15 Desember 2023, di Purbalingga
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000567549

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri



Anggoro Dasananto
NIP. 196412081991031002

Disclaimer:
Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.