

PENINGKATAN KARAKTERISTIK SIFAT FISIKA SERAT TKKS MENGGUNAKAN NaOH DAN H₂O₂ UNTUK PEMBUATAN *BIODEGRADABLE* POT

ENHANCING THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF OPEFB FIBER USING NaOH AND H₂O₂ TO MAKE BIODEGRADABLE POTS

Supriyanto^{1*}, Dewi Riniarti¹, Widia Rini Hartari¹, Aldenny Rezky Roham²,
Fajar Aditya Nugraha²

¹ Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Negeri Lampung

² Program Studi Produksi dan Manajemen Industri Perkebunan

* penulis korespondensi: supriyanto@polinela.ac.id

Tanggal masuk: 28 Juli 2025

Tanggal diterima: 01 Oktober 2025

Abstract

Diversification of OPEFB into products with high sales value is essential in encouraging the utilization of OPEFB waste in the palm oil industry. OPEFB is generally used for making compost, mulch in oil palm plantations, mushroom growing media, activated carbon, and other products. Therefore, diversification of OPEFB-based products is vital, including using OPEFB fiber to make biodegradable pots. OPEFB fiber has a less attractive appearance and looks duller, so special treatment is needed to obtain OPEFB fiber that is more attractive and has good physical properties. Using NaOH and H₂O₂ as solvents in the OPEFB fiber bleaching process impacts the characteristics and properties of the OPEFB fiber. Increasing the use of NaOH and H₂O₂ solvents as bleaching agents significantly impacts absorption capacity, density, degree of whiteness, degradation capacity, and tensile strength in biodegradable pots. Judging from the physical characteristics, the solvent concentration used in each type of solvent varies. Using NaOH in biodegradable pots has an increasing effect on each test variable. The best results were found at 15% NaOH concentration with a whiteness of 13.48%, a specific density of 0.51 g/cm³, and an absorption capacity of 78.10%. While using H₂O₂ as a solvent, the tensile strength, whiteness, absorption capacity, and specific density variables increased, while the degradation decreased. The best H₂O₂ treatment was at 5% H₂O₂ concentration with a tensile test result of 7.05 kg.cm⁻², a whiteness of 22.89% and a specific density of 0.83 g.cm⁻³. In general, using H₂O₂ gave good physical properties to biodegradable pots compared to NaOH.

Keywords: citation, journal, keywords, research, result (example)

Abstrak

Diversifikasi penggunaan TKKS menjadi produk yang memiliki nilai jual tinggi mempunyai peranan penting dalam mendorong pemanfaatan limbah TKKS pada industri kelapa sawit. Secara umum TKKS digunakan untuk pembuatan kompos, mulsa pada perkebunan sawit, media tanam jamur, karbon aktif dan beberapa produk lainnya. Oleh sebab itu diversifikasi produk berbahan TKKS menjadi hal yang vital, salah satunya adalah penggunaan serat TKKS sebagai bahan pembuatan *biodegradable* pot. Serat TKKS mempunyai penampilan yang kurang menarik dan terlihat lebih kusam, sehingga diperlukan adanya perlakuan khusus untuk mendapatkan serat TKKS yang lebih menarik dan mempunyai sifat fisik yang baik. Penggunaan NaOH dan H₂O₂ sebagai pelarut pada proses bleaching serat TKKS memberikan dampak terhadap karakteristik dan sifat serat TKKS.



Lisensi

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

Peningkatan penggunaan pelarut NaOH dan H₂O₂ sebagai bahan bleaching memberikan dampak yang signifikan terhadap variabel daya serap, densitas, derajat putih, daya degradasi dan kuat tarik pada *biodegradable* pot. Ditinjau dari karakteristik fisik, konsentrasi pelarut yang digunakan pada tiap jenis pelarut berbeda-beda. Penggunaan NaOH terhadap *biodegradable* pot memberikan pengaruh peningkatan pada setiap variabel pengujian. Hasil terbaik terdapat pada konsentrasi NaOH 15% dengan hasil derajat putih 13,48%, kerapatan jenis 0,51 g.cm⁻³ dan daya serap 78,10%. Sedangkan pada penggunaan H₂O₂ sebagai pelarut variabel kuat tarik, derajat putih, daya serap dan kerapatan jenis mengalami peningkatan, sedangkan degradasi mengakibatkan penurunan nilai. Perlakuan H₂O₂ terbaik terdapat pada konsentrasi H₂O₂ 5% dengan hasil uji tarik 7,05 kg.cm⁻², derajat putih 22,89% dan kerapatan jenis 0,83 g.cm⁻³. Secara umum penggunaan H₂O₂ memberikan hasil sifat fisik yang baik pada *biodegradable* pot jika dibandingkan menggunakan NaOH.

Kata kunci: serat TKKS, komposit, *biodegradable* pot, NaOH, H₂O₂

PENDAHULUAN

Serat alam merupakan sumber serat terbarukan yang telah banyak dikembangkan karena mempunyai keunggulan seperti kepadatan rendah, ramah lingkungan, biodegradabilitas, kekakuan spesifik tinggi, insulasi termal dan akustik yang baik, serta sifat mekanik yang luar biasa (Sarono, et al., 2023; Suriaman et al., 2022). Sifat-sifat serat alam ini mempunyai peran dalam pengembangan diversifikasi penggunaannya dalam berbagai penggunaan dengan tujuan utama untuk memanfaatkannya guna menghasilkan komposit polimer yang ramah lingkungan, *biodegradable*, dan ramah lingkungan (Sazuan et al., 2023). Salah satu yang banyak dikembangkan saat ini adalah serat yang berasal dari limbah pengolahan pabrik kelapa sawit. Indonesia sebagai produsen terbesar kelapa sawit mempunyai potensi limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang sangat besar, data dari BPS menunjukkan bahwa pada tahun 2024 Indonesia telah menghasilkan 47,47 juta ton tandan buah segar, berdasarkan data tersebut maka didapatkan potensi TKKS sebanyak 9,49 – 10,92% TKKS. Penggunaan TKKS telah digunakan untuk bahan baku pembuatan media jamur merang, media kompos, bioethanol dan beberapa produk lainnya (Sarono, et al., 2023; Supriyanto & Sarono, 2020).

Ketersediaan TKKS sangat berlimpah ketersediaanya, sedangkan pemanfaatannya masih minim sehingga terbuang sia-sia dan menimbulkan bau tidak sedap. Beberapa perusahaan di Indonesia memanfaatkan TKKS sebagai mulsa yang pelaksanaannya hanya diletakan pada daerah gawangan mati perkebunan kelapa sawit, hal ini dilakukan untuk menjaga ketersediaan air tanaman dan sumber unsur hara organik (Palm et al., 2023). Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) mengandung lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, lignin, dan hemiselulosa. TKKS berasal dari pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) (Raharjo, 2020). Kandungan selulosa dalam TKKS sebesar 45,95% berpotensi sebagai bahan baku pembuatan barang-barang yang bernilai ekonomi salah satunya yaitu *biodegradable* pot. *Biodegradable* pot merupakan pot yang terbuat dari bahan alam yang dapat

terurai secara alami. *Biodegradable* pot dimanfaatkan sebagai media tanam yang baik karena mampu menampung air yang bermanfaat bagi tanaman serta memiliki nilai estetika (Harahap et al., 2025a). Penggunaan biopot dari serat biomassa dapat mengurangi limbah plastik untuk pembibitan tanaman dan meningkatkan keberlanjutan.

Serat TKKS, seperti serat alami lainnya, seperti serat rami, kulit pisang, daun nanas, sisal, sabut kelapa, dan rami memiliki beberapa karakteristik yang dibutuhkan untuk pembuatan *biodegradable* pot (Bhunja et al., 2023; Gupta et al., 2024). Karakteristik tersebut meliputi daya serap air yang tinggi, stabilitas termal yang rendah, dan sifat anisotropik yang ekstrem, sehingga membatasi penggunaannya dalam penguatan matriks polimer (Mohammed et al., 2023). Perlakuan serat alami, baik secara fisik (Li et al., 2025) maupun kimia (Sathish et al., 2021), diperkirakan akan mengurangi sifat hidrofilitiknya sehingga meningkatkan adhesi antarmuka antara serat alami dan matriks polimer; mengurangi penyerapan air dan meningkatkan stabilitas termal komposit. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan dalam berbagai literatur riset terhadap perlakuan serat TKKS masih sangat mungkin dilakukan terutama penggunaan alkali dan asam untuk efeknya pada sifat mekanik dan termal serat (Aisyah et al., 2024).

Selain kekurangan sifat fisik dari serat TKKS, secara estetika serat TKKS memiliki warna yang gelap sehingga penggunaan sebagai bahan baku pembuatan *biodegradable* pot kurang menarik. Oleh sebab itu, perlu adanya perlakuan khusus untuk mendapatkan warna yang lebih cerah dan memiliki daya rekat yang baik. Perlakuan yang dapat meningkatkan kecerahan warna TKKS adalah proses *bleaching*. Proses yang digunakan pada umumnya dalam proses *bleaching* menggunakan pereaksi asam ataupun basa. Proses *bleaching* secara asam yang banyak digunakan adalah hidrogen peroksida (H_2O_2) (Li et al., 2020). Sedangkan penggunaan larutan basa atau alkali *pre-treatment* seperti penggunaan NaOH dapat digunakan untuk membantu proses *bleaching* (Franco et al., 2025). Larutan NaOH yang digunakan untuk *bleaching* merupakan larutan encer agar tidak merusak struktur lignoselulosa (Altwala & Jabli, 2025). Berdasarkan uraian diatas, dampak penggunaan H_2O_2 dan NaOH serta lama perendaman pada proses *bleaching* terhadap sifat fisik dan mekanis serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku *biodegradable* pot perlu dilakukan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Alsuwait et al., (2024), penggunaan alkali pada perlakuan dengan konsentrasi natrium hidroksida 2%, 5%, dan 10% dan konsentrasi penggunaan asam pada konsentrasi 0%, 5% dan 10% H_2O_2 pada suhu ruang selama 3 jam, menunjukkan bahwa serat akan mengalami penurunan kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin pada berbagai konsentrasi. Peningkatan konsentrasi NaOH dapat mengakibatkan pengurangan kristalinitas dan kandungan selulosa setelah pengadukan selama 3 jam dan perlakuan terbaik terdapat pada konsentrasi NaOH 5%. Sedangkan

penggunaan H_2O_2 menunjukkan bahwa semakin tinggi penggunaan akan menyebabkan tingkat warna keputihan semakin meningkat dengan perlakuan terbaik terdapat pada konsentrasi 10% (Chairani Ritonga et al., 2023). Oleh sebab itu kombinasi penggunaan NaOH dan H_2O_2 dengan konsentrasi tertentu diperlukan untuk mendapatkan *biodegradable* pot yang kuat dan tetap indah dipandang dari sudut estetika. NaOH berfungsi untuk menghilangkan lignin pada TKKS sehingga proses pemutihan menggunakan H_2O_2 semakin mudah dengan konsentrasi dan volume yang lebih rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh konsentrasi NaOH dan H_2O_2 sebagai pelarut yang digunakan untuk bleaching pada serat TKKS terhadap sifat fisika bahan baku pembuatan *biodegradable* pot.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat TKKS yang didapatkan dari Pabrik Kelapa Sawit PTPN I Regional 7 KSO Kebun Bekri di Lampung Tengah. Lateks, NaOH pro analisis dengan kemurnian 99%, H_2O_2 Pro Analisis dengan kemurnian 30%, akuades kompon lateks. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah mesin pengurai serabut, neraca analitik Biobase dengan ketelitian 0,1 mg, *hot plate DLABMS7*, *beaker glass*, *Universal Tensile Strength IBERTEST TECHCOM-5*, oven Memert, *whitness tester* Kett C-600 dan beberapa alat gelas lainnya

Metode Penelitian

Metode penelitian pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor perlakuan yaitu jenis pelarut untuk bleaching sebanyak 2 bahan dan konsentrasi pelarut sebanyak 5 taraf. TKKS yang dihasilkan dari Pabrik Kelapa Sawit sebelum diaplikasikan dicacah Universal memanjang mengikuti alur serat TKKS menjadi 4 sampai 6 bagian sebelum dimasukan kedalam mesin pengurai serabut. Proses perendaman dilakukan terhadap serat TKKS dengan berbagai konsentrasi NaOH dan H_2O_2 untuk mendapatkan serat yang akan digunakan untuk pembuatan *biodegradable* pot.

Perlakuan alkali pada serat TKKS dilakukan untuk meningkatkan ionisasi gugus hidroksil dan selanjutnya mengubah struktur dan ikatan kimia serat. Pertama, larutan NaOH pada berbagai konsentrasi (0, 10, 15, dan 20%) disiapkan untuk perlakuan serat TKKS. Untuk setiap konsentrasi, 10 g serat TKKS dilarutkan dalam 100 ml larutan NaOH pada suhu ruang dan kemudian diaduk terus menerus pada kecepatan 800 rpm selama 3 jam untuk menghilangkan hemiselulosa dan kontaminan lainnya. Setelah itu, serat ditiriskan dari larutan dan dicuci terus menerus dengan air suling hingga pH netral. Serat TKKS yang diolah dijemur selama sekitar dua hari dan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam untuk menghilangkan

sisa air dalam serat. Selanjutnya proses pemutihan dilakukan menggunakan H_2O_2 konsentrasi yang digunakan adalah 2, 3, 4, dan 5% H_2O_2 . Perendaman serat TKKS dilakukan dengan menimbang 10 g serat TKKS dilarutkan dalam 100 ml larutan H_2O_2 pada suhu ruang dan kemudian diaduk terus menerus pada kecepatan 800 rpm selama 3 jam untuk menghilangkan hemiselulosa dan meningkatkan keputihan pada serat TKKS. Setelah itu, serat ditiriskan dari larutan dan dicuci terus menerus dengan air suling hingga pH netral. Serat TKKS yang diolah dijemur selama sekitar dua hari dan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $80^\circ C$ selama 24 jam untuk menghilangkan sisa air dalam serat (Elmoudnia et al., 2023).

Variabel pengujian karakteristik serat TKKS

Pengujian Daya Serap

Pengujian daya serap (*water absorption*) pada serat TKKS mengacu pada Chairani Ritonga et al., (2023). Kapasitas daya serap serat TKKS dinyatakan dalam *swelling ratio* dan ditentukan dengan metode *tea-bag*. Pengujian ini dilakukan dengan menimbang berat kantong teh kering (W_n) dan berat serat TKKS (W_0). Sampel serat TKKS yang diujikan sebanyak 10 g. Kemudian, kantong teh yang telah diisi sampel selulosa dicelupkan ke dalam air pada suhu ruang selama 10 menit. Selanjutnya, kantong teh diangkat dan digantung selama 15 menit. Air yang terserap oleh serat TKKS dinyatakan dalam bentuk *swelling ratio* (g H_2O /g sampel selulosa) yang ditentukan melalui Persamaan 1

$$(1) \text{ Swelling ratio } \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{(W_t - W_0 - W_n)}{W_0}$$

Keterangan:

W_t = Berat setelah perendaman (g)

W_0 = Berat serat TKKS (g)

W_n = Berat kantong basah (g)

Uji Kerapatan Jenis

Kerapatan serat TKKS dihitung dari perbandingan antara massa dan volume *biodegradable* pot dalam kondisi kering, menggunakan rumus pada Persamaan 2

$$(2) \text{ Kerapatan } = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

m = massa (g)

v = volume (cm^3)

Pengujian Derajat Putih

Uji keputihan (*whiteness test*) adalah metode pengukuran tingkat keputihan atau kecerahan suatu bahan, yang biasanya dilakukan menggunakan alat khusus bernama whiteness meter. Prinsip kerja alat ini adalah dengan mengukur jumlah cahaya yang dipantulkan oleh permukaan bahan setelah disinari oleh sumber cahaya standar, kemudian membandingkan pantulan tersebut dengan standar warna putih. Hasil pengukuran ini dinyatakan dalam bentuk nilai numerik yang merepresentasikan tingkat keputihan bahan tersebut. Untuk menghitung kadar keputihan, dapat digunakan rumus pada Persamaan 3

$$(3) \text{ Derajat Putih (\%)} = \frac{\text{Nilai derajat putih contoh}}{\text{nilai derajat putih BaSO}_4} \times 100\%$$

Pengujian Daya Degradasi

Pengujian daya degradasi dilakukan mengacu pada Mariappan Kadarkarainadar et al., (2019). Spesimen dipotong-potong 4 cm² diletakkan di tanah (memiliki kadar air sedikit) dikumpulkan dan disimpan dalam wadah. Sampel *biodegradable* pot dikubur di dalam tanah pada kedalaman 2 cm selama 7 hari di bawah kondisi ruangan. Berat spesimen diukur sebelum dan sesudah pengujian. Uji biodegradabilitas diukur berdasarkan Persamaan 4

$$(4) \text{ Kehilangan massa (\%)} = \left[\frac{(W_o - W)}{W_o} \right] \times 100$$

Keterangan :

W_o : bobot sampel sebelum penimbunan

W : bobot sampel sesudah penimbunan

Pengujian Kuat Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Tensile Test. Dalam pengujian spesimen dipotong sepanjang minimal 8 cm dan lebar maksimal 4 cm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material bertambah panjang. Beban tarik yang bekerja pada benda yang diuji akan memperoleh pertambahan panjang serta bersamaan pengecilan pada diameter benda yang diuji (ASTM D-3039).

$$(5) \sigma_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Beban (F)}}{\text{Luas (A}_0\text{)}}$$

Keterangan :

σ_u = Tegangan tarik maksimum (kg/cm²)

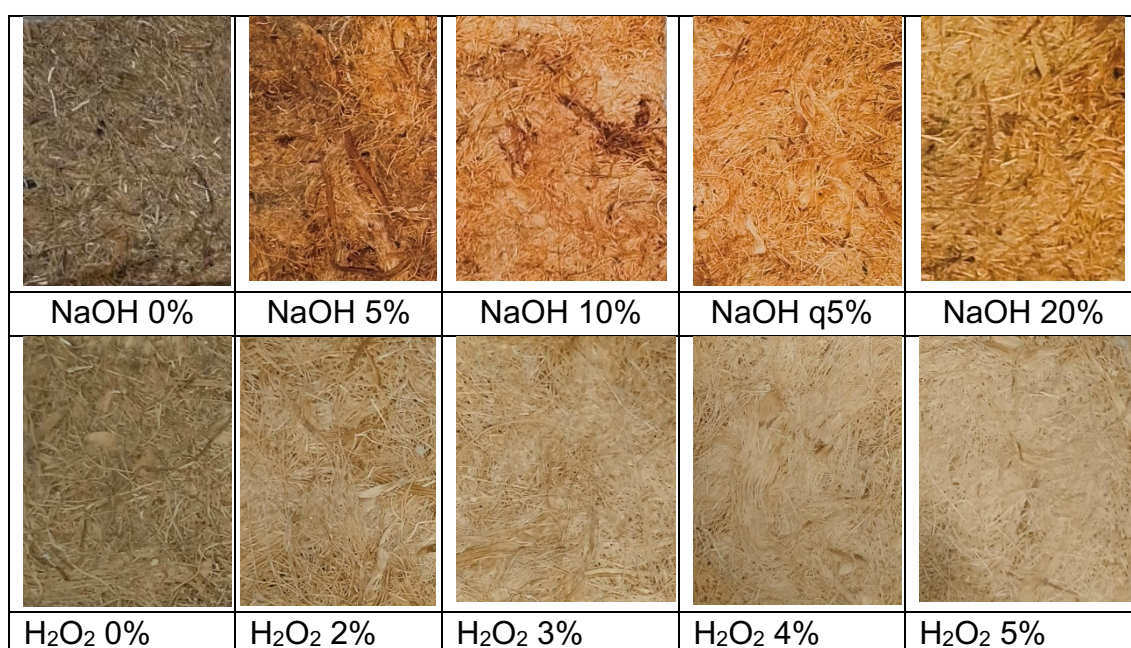
F = Beban tarik maksimum (kgf)

A₀ = Luas penampang awal (cm²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Warna TKKS

Berdasarkan pada perlakuan yang telah dilakukan, karakteristik warna TKKS yang didapatkan mempunyai tingkat kecerahan yang semakin meningkat. Warna serat TKKS yang tidak diolah adalah warna coklat dengan permukaan yang kusam, ketika serat TKKS diurai menggunakan mesin pengutrai serat, sementara serat yang diolah dengan natrium hidroksida berubah menjadi warna perunggu. Selain itu, warna perunggu sampel yang diolah dengan natrium hidroksida semakin pekat ketika konsentrasi larutan NaOH dan H_2O_2 (Gambar 1).



Gambar 1. Visualisasi serat TKKS setelah bleaching dengan NaOH dan H_2O_2

Perlakuan serat TKKS dengan larutan NaOH dan H_2O_2 secara signifikan mengubah komposisi kimianya berdasarkan peningkatan konsentrasi pelarut, hal sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ritonga et al., (2023) yang menemukan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dan H_2O_2 berkorelasi dengan kenaikan derajat delignifikasi, perubahan komposisi kimia, dan peningkatan brightness serat. Komponen selulosa dari serat meningkat dengan perlakuan sementara komponen lignin dan hemiselulosa berkurang. Peningkatan kandungan selulosa dan penurunan lignin dan hemiselulosa seiring perlakuan disebabkan oleh berkurangnya jumlah ikatan O–H dalam struktur serat, sehingga mengurangi sifat hidrofilik serat TKKS, sehingga meningkatkan interaksinya dengan matriks yang diinginkan. Selain itu, perlakuan larutan NaOH dan H_2O_2 mampu menghilangkan kandungan hemiselulosa dan lignin dari lapisan luar serat TKKS, yang dapat mendorong pengurangan diameter serat sebagaimana dilaporkan dalam penelitian ini (Raju et al., 2021). Selulosa dalam serat sebagian

berubah dalam domain kristal sehingga berdampak terhadap pengurangan indeks kristalinitas dan meningkatkan kelenturan pada serat. Serat tidak cocok untuk meningkatkan kekerasan dalam pengembangan material komposit polimer (Zamboni Schiavon & de Oliveira Andrade, 2023). Penggunaan NaOH dan H₂O₂ sebagai pelarut pada proses *bleaching* mampu meningkatkan kecerahan pada serat TKKS. Sehingga, penghilangan hemiselulosa dan pengotor permukaan setelah perlakuan NaOH dan H₂O₂ peroksida akan meningkatkan sifat mekanik serat DEFB seperti yang diamati secara sama dalam penelitian (Ramakrishnan et al., 2023). Secara umum, komponen selulosa yang dominan dalam serat menentukan karakteristik tarik mekanis, termal, kristalin, dan permukaan serat (Shahril et al., 2022). Hal sangat mendukung untuk menghasilkan biodegradable pot yang mempunyai warna cerah dan kekuatan yang baik.

B. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap air (daya hisap) air, penentuan daya serap air dilakukan dengan memperbandingkan massa benda dalam keadaan kering dengan bobot dalam kondisi jenuh air (Wahyuni Ardi et al., 2016). Daya serap sangat mempengaruhi kualitas *biodegradable* pot, sehingga kandungan daya serap air suatu bahan harus serendah mungkin pada saat penyimpanan. Semakin cepat *biodegradable* pot terurai maka semakin tinggi daya serap airnya (Wahdan et al., 2022). Oleh karena itu, daya serap air yang sesuai dengan nilai kesetimbangan sangat penting untuk mencegah degradasi yang terlalu cepat dan memastikan kualitasnya tetap tinggi.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa nilai rata-rata daya serap air *biodegradable* pot berbeda nyata pada perlakuan konsentrasi sedangkan jenis pereaksi tidak berbeda nyata berdasarkan variasi konsentrasi NaOH dan H₂O₂. Konsentrasi NaOH dan pereaksi terhadap daya serap air *biodegradable* pot dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata daya serap air serat TKKS

Perlakuan	Rata-rata daya serap air (%)
Pelarut NaOH	
N ₁ = NaOH 0%	58.49a
N ₂ = NaOH 5%	74.02bc
N ₃ = NaOH 10%	74.34bc
N ₄ = NaOH 15%	78.10c
N ₅ = NaOH 20%	71.46b
Pelarut H ₂ O ₂	
H ₁ = H ₂ O ₂ 0%	58.49a
H ₂ = H ₂ O ₂ 2%	75.30c
H ₃ = H ₂ O ₂ 3%	70.43b
H ₄ = H ₂ O ₂ 4%	67.67b
H ₅ = H ₂ O ₂ 5%	71.39bc

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom, tidak berbeda nyata menurut Uji DMRT pada taraf 5%.

Data menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH dan H₂O₂ mempengaruhi daya serap air *biodegradable* pot. Hasil pengujian ini belum ada satupun perlakuan yang memenuhi SNI 03-2105-2006 yang memiliki batas maksimal untuk daya serap sebesar 20%. Hal ini disebabkan oleh serat TKKS yang kehilangan lignin sehingga merubah sifat material yang sebelumnya bersifat *hidrophobic* (tidak suka air) menjadi *hidrophilic* (suka air). Temuan ini sejalan dengan pernyataan Mulia Raja et al., (2023) yang menyatakan penggunaan NaOH dengan konsentrasi yang tinggi menyebabkan pelarutan lignin dan senyawa asetil TKKS meningkatkan porositas *biodegradable* pot dan pembentukan rongga mikro yang menyebabkan tingginya daya serap air pot.

C. Pengujian Kerapatan Jenis

Densitas (kerapatan jenis) adalah ukuran kerapatan atau massa jenis dari *biodegradable* pot yang merupakan perbandingan antara massa *biodegradable* pot dengan volume yang dinyatakan dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m³) (Lestari et al., 2022). Nilai densitas menunjukkan seberapa padat bahan penyusun *biodegradable* pot tersebut. Semakin tinggi nilai densitas, berarti *biodegradable* pot memiliki massa yang lebih besar dalam volume yang sama, yang biasanya berhubungan dengan kekuatan mekanik dan daya tahan *biodegradable* pot. Faktor yang memengaruhi densitas *biodegradable* pot antara lain komposisi bahan dasar penyusun produk, ukuran bahan dasar produk, jumlah dan jenis perekat, serta proses pencetakan dan pengeringan (Arianti dkk., 2024). Berdasarkan hasil analisis sidik ragam mengenai pengaruh interaksi konsentrasi NaOH dan H₂O₂ menunjukkan nilai yang berbeda nyata. Pengaruh konsentrasi dan lama waktu perendaman NaOH dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata kerapatan jenis serat TKKS

Perlakuan	Rata-rata kerapatan jenis (g/cm ³)
Pelarut NaOH	
N ₁ = NaOH 0%	0.50 ^{bc}
N ₂ = NaOH 5%	0.36 ^a
N ₃ = NaOH 10%	0.45 ^b
N ₄ = NaOH 15%	0.58 ^c
N ₅ = NaOH 20%	0.51 ^{bc}
Pelarut H ₂ O ₂	
H ₁ = H ₂ O ₂ 0%	0.50 ^a
H ₂ = H ₂ O ₂ 2%	0.63 ^{ab}
H ₃ = H ₂ O ₂ 3%	0.72 ^{bc}
H ₄ = H ₂ O ₂ 4%	0.76 ^c
H ₅ = H ₂ O ₂ 5%	0.83 ^c

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom, tidak berbeda nyata menurut Uji DMRT pada taraf 5%.

Secara umum, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dan H₂O₂ cenderung meningkatkan densitas *biodegradable* pot. Hal ini menunjukkan bahwa proses *bleaching* menggunakan konsentrasi NaOH dan H₂O₂ mampu menghilangkan lignin dan zat lainnya lebih efektif, sehingga serat TKKS menjadi lebih bersih, padat, dan mudah terikat oleh perekat lateks. Pada perlakuan ini hampir semua pengujian yang memenuhi SNI 03-2105-2006 (0,4 -0,9 g/cm³) kecuali pada perlakuan menggunakan pelarut NaOH 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH dan H₂O₂ pada serat TKKS berperan penting dalam meningkatkan densitas *biodegradable* pot sebagai bahan baku *biodegradable* pot. Hal ini karena NaOH dan H₂O₂ mampu menghilangkan lignin yang mengikat serat selulosa dalam TKKS, sehingga serat menjadi lebih bersih dan mudah terikat oleh perekat terutama pada penggunaan pelarut H₂O₂ lebih tinggi kerapatan jenisnya bila dibandingkan dengan NaOH. Penggunaan larutan NaOH sebagai alkali pretreatment efektif memecah ikatan silang ester pada lignin, menyebabkan lignin larut dan terlepas dari matriks serat (Permana dkk., 2024). Selain itu, lama waktu perendaman selama 3 jam dalam larutan NaOH dan H₂O₂ juga memengaruhi tingkat densitas *biodegradable* pot. Waktu perendaman yang cukup memungkinkan NaOH bereaksi optimal dengan lignin, sehingga proses delignifikasi berjalan maksimal (Nusbah et al., 2025).

D. Pengujian Derajat Putih

Pengujian derajat putih (tes keputihan) menjadi penting bagi industri dalam mengukur kualitas produk dan memenuhi standar konsumen terhadap suatu produk. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa nilai rata-rata tingkat kecerahan *biodegradable* pot berbeda nyata berdasarkan variasi konsentrasi NaOH dan H₂O₂. konsentrasi NaOH dan H₂O₂ terhadap kecerahan *biodegradable* pot dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata derajat putih serat TKKS

Perlakuan	Rata-rata derajat putih (%)
Pelarut NaOH	
N ₁ = NaOH 0%	8.32a
N ₂ = NaOH 5%	10.77b
N ₃ = NaOH 10%	12.20bc
N ₄ = NaOH 15%	13.48c
N ₅ = NaOH 20%	11.82bc
Pelarut H ₂ O ₂	
H ₁ = H ₂ O ₂ 0%	8.32a
H ₂ = H ₂ O ₂ 2%	21.91c
H ₃ = H ₂ O ₂ 3%	17.89b
H ₄ = H ₂ O ₂ 4%	22.44c
H ₅ = H ₂ O ₂ 5%	22.89c

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom, tidak berbeda nyata menurut Uji DMRT pada taraf 5%.

Pengaruh lama *bleaching* menggunakan NaOH dan H₂O₂ terhadap tingkat keputihan serat TKKS sangat signifikan dalam proses *bleaching*. Proses *bleaching* bertujuan untuk menghilangkan pigmen dan sisa lignin yang masih melekat pada serat setelah tahap delignifikasi, sehingga menghasilkan serat dengan tingkat kecerahan yang lebih tinggi. Berdasarkan pada nilai rata-rata pengujian derajat putih, penggunaan pelarut H₂O₂ mempunyai nilai kecerahan yang lebih tinggi bila dibandingkan menggunakan pelarut NaOH. Dalam penelitian Thoriq dkk., (2022) mengungkapkan bahwa proses delignifikasi menggunakan *bleaching* menggunakan H₂O₂ 12% selama 1,5 jam pada suhu 85-95°C menghasilkan tingkat kecerahan terbaik pada serat TKKS. Hal ini menunjukkan bahwa durasi *bleaching* yang cukup lama dapat meningkatkan efektivitas penghilangan lignin dan pigmen yang menyebabkan warna gelap pada serat.

E. Pengujian Degradasi

Daya degradasi *biodegradable* pot adalah kemampuan *biodegradable* pot yang terbuat dari bahan organik seperti serat TKKS untuk terurai atau mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme di lingkungan. Proses degradasi ini mengubah *biodegradable* pot menjadi senyawa sederhana yang ramah lingkungan, sehingga *biodegradable* pot tidak meninggalkan limbah plastik dan dapat terurai secara alami setelah digunakan sebagai media tanam. Daya degradasi ini biasanya diukur dari persentase penurunan berat kering *biodegradable* pot selama periode tertentu saat dikubur di tanah atau dalam kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas mikroba pengurai. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa nilai rata-rata degradasi *biodegradable* pot menunjukkan berbeda nyata berdasarkan variasi konsentrasi NaOH dan H₂O₂. Rata-rata degradasi serat TKKS pada konsentrasi NaOH dan H₂O₂ dapat dilihat Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata degradasi serat TKKS

Perlakuan	Rata-rata degradasi (%)
Pelarut NaOH	
N ₁ = NaOH 0%	0.05a
N ₂ = NaOH 5%	0.06a
N ₃ = NaOH 10%	0.05a
N ₄ = NaOH 15%	0.08ab
N ₅ = NaOH 20%	0.11b
Pelarut H ₂ O ₂	
H ₁ = H ₂ O ₂ 0%	0.05a
H ₂ = H ₂ O ₂ 2%	0.20c
H ₃ = H ₂ O ₂ 3%	0.13b
H ₄ = H ₂ O ₂ 4%	0.13b
H ₅ = H ₂ O ₂ 5%	0.12b

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom, tidak berbeda nyata menurut Uji DMRT pada taraf 5%.

Penggunaan pelarut H_2O_2 mempunyai pengaruh yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan NaOH. Hal ini disebabkan oleh H_2O_2 mempunyai kemampuan lebih besar untuk mendegradasi selulosa yang terdapat pada bagian terluar serat TKKS. Selain itu terdapat faktor-faktor lain yang memengaruhi daya degradasi *biodegradable* pot meliputi komposisi bahan baku, kandungan lignin, kadar air, densitas, serta penambahan bahan pengikat seperti kaolin dan sodium alginat. Penambahan bahan perekat berupa lateks juga dapat meningkatkan kerapatan *biodegradable* pot sehingga mengurangi interaksi *biodegradable* pot dengan air dan mikroba pengurai, yang berakibat menurunkan laju degradasi. Sebaliknya, *biodegradable* pot dengan kadar lignin yang tinggi cenderung lebih sulit terdegradasi karena lignin bersifat tahan terhadap penguraian mikroba (Harahap et al., 2025b). Pengaruh konsentrasi dan lama bleaching menggunakan NaOH terhadap daya degradasi *biodegradable* pot berbahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menunjukkan bahwa variasi konsentrasi NaOH dan durasi perlakuan bleaching dapat memengaruhi proses delignifikasi lignin dalam TKKS. Lignin yang merupakan perekat dalam struktur biomassa TKKS sulit didegradasi sehingga menghambat mikroorganisme dalam mencerna bahan organik.

F. Pengujian Kuat Tarik

Kuat tarik menunjukkan batas tertinggi dari tekanan yang dapat diterima bahan saat diregangkan sebelum terjadi kerusakan struktural. Pada *biodegradable* pot, kuat tarik memiliki fungsi sebagai indikator kemampuan *biodegradable* pot dalam menahan tekanan dan berat pada saat digunakan sebagai media tanam. Kuat tarik sangat diperlukan agar dapat mempertimbangkan jumlah tanah dan jenis tumbuhan yang mampu ditahan oleh *biodegradable* pot. Jika nilai kuat tarik *biodegradable* pot semakin rendah maka ketahanan *biodegradable* pot dalam menahan tekanan menjadi semakin rendah dan apabila nilai kuat tarik semakin tinggi, maka kemampuan *biodegradable* pot dalam menahan tekanan akan semakin tinggi. Uji tarik biasanya dilakukan dengan menguji sampel material pada alat bernama *Universal Testing Machine* (UTM) dengan metode ASTM D882. Pengujian ini dilakukan dengan cara menjepit ujung *biodegradable* pot pada mesin uji, kemudian memberikan gaya tarik hingga sampel mengalami kerusakan atau putus. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa nilai rata-rata kuat tarik *biodegradable* pot berbeda nyata berdasarkan variasi konsentrasi NaOH dan H_2O_2 . Rata-rata kuat Tarik pada konsentrasi NaOH dan H_2O_2 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata kuat tarik serat TKKS

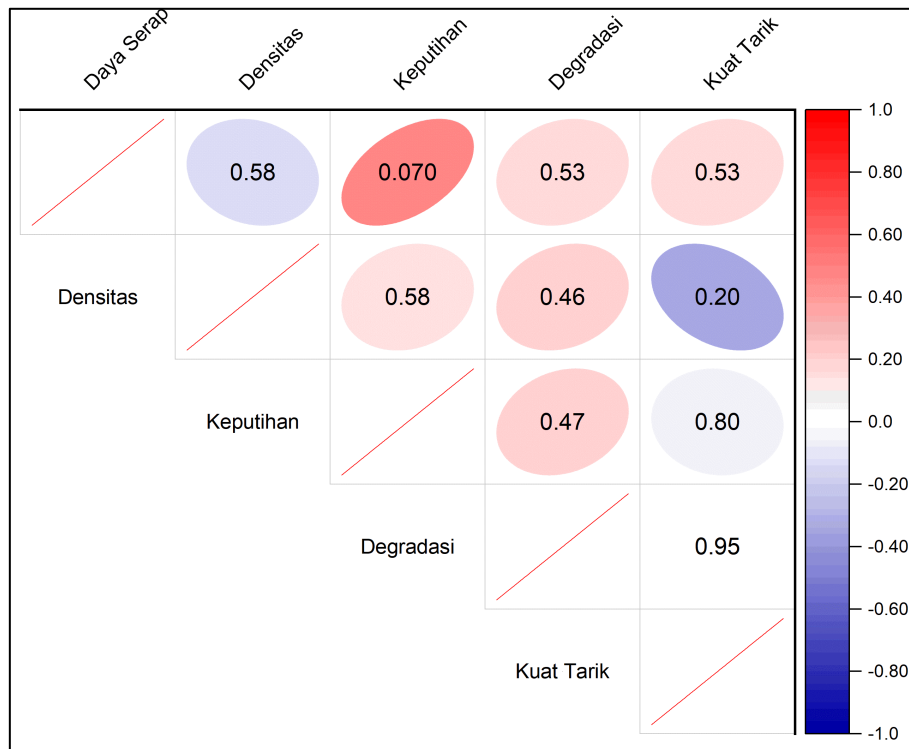
Perlakuan	Rata-rata kuat tarik (kgf.cm ⁻²)
Pelarut NaOH	
N ₁ = NaOH 0%	5,71a
N ₂ = NaOH 5%	4,84a
N ₃ = NaOH 10%	9,69c
N ₄ = NaOH 15%	4,73a
N ₅ = NaOH 20%	7,05bc
Pelarut H ₂ O ₂	
H ₁ = H ₂ O ₂ 0%	5,71b
H ₂ = H ₂ O ₂ 2%	1,90a
H ₃ = H ₂ O ₂ 3%	3,18a
H ₄ = H ₂ O ₂ 4%	3,39ab
H ₅ = H ₂ O ₂ 5%	4,34ab

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom, tidak berbeda nyata menurut Uji DMRT pada taraf 5%.

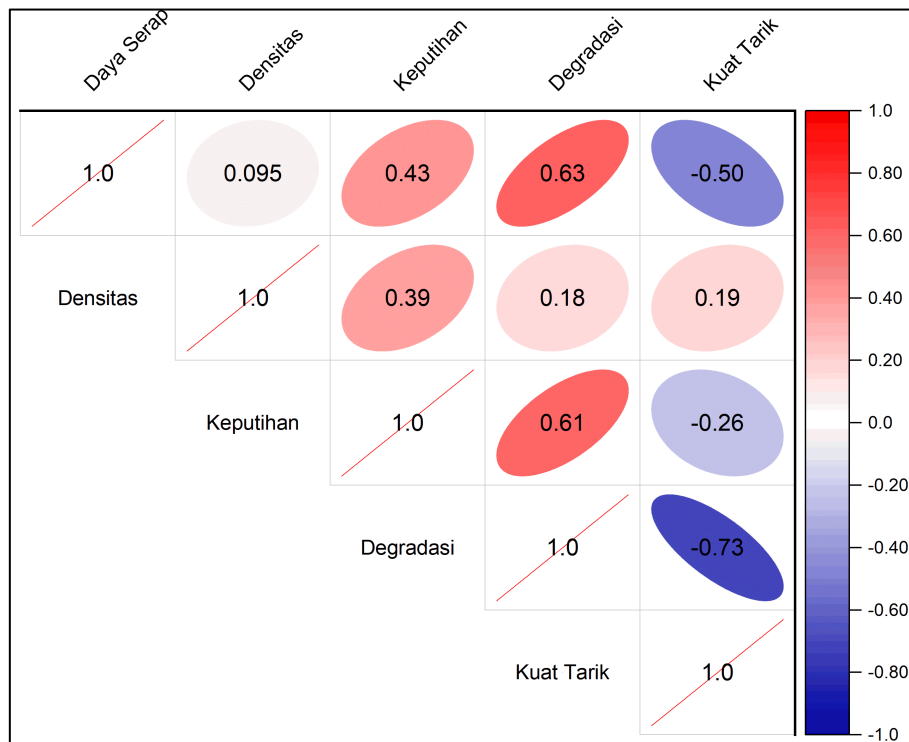
Bedasarkan pada hasil pengamatan uji tarik pada serat TKKS, penggunaan NaOH mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan H₂O₂. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan alkali NaOH mampu meningkatkan ikatan antar serat TKKS melalui proses delignifikasi dan *bleaching* selektif, sehingga struktur serat menjadi lebih kompak dan kuat (Anom et al., 2021). Peningkatan sifat yakni kekuatan tarik disebabkan karena TKKS bersifat hidrofilik, sehingga dapat membentuk ikatan kuat hidrogen antar gugus fungsinya (Saragih dkk., 2022). Berbeda halnya pada penggunaan pelarut H₂O₂, banyaknya seluloas yang terdegradasi pada bagian terluar serat TKKS mengakibatkan rekasi bahan perekat menjadi berkurang yang menyebabkan ikatan antara serat dan perekat menjadi lemah (Rama Rao & Ramakrishna, 2022). Peristiwa ini diduga akibat konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi menyebabkan serat TKKS menjadi rapuh sehingga menyebabkan penurunan daya kuat tarik.

G. Koefisien korelasi Pearson

Koefisien korelasi Pearson adalah metode statistic yang digunakan untuk mengukur derajat korelasi linier antara dua variabel. Semakin besar nilai absolut *r*, semakin kuat korelasinya. Dalam hal ini korelasi Pearson digunakan untuk mengevaluasi korelasi linier antara fitur dan variabel target pengaruh NaOH dan H₂O₂ pada serat TKKS sebagai bahan *biodegradable* pot. Variabel tersebut terdiri dari pengujian daya serap, kerapatan jenis, derajat putih, degradasi dan kuat tarik, kemudian menentukan pentingnya fitur tersebut. Secara umum, koefisien korelasi dengan nilai absolut yang lebih besar berarti hubungan linier yang lebih kuat antara fitur dan variabel target, sehingga fitur-fitur ini dimungkinkan lebih penting. Koefisien korelasi Pearson pada pengaruh NaOH dan H₂O₂ terhadap karakteristik serat TKKS sebagai bahan *biodegradable* pot dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Koefisien korelasi Pearson NaOH terhadap sifat mekanis dan fisika serat TKKS



Gambar 3. Koefisien korelasi Pearson NaOH terhadap sifat mekanis dan fisika serat TKKS.

Matriks koefisien korelasi antara variabel-variabel sifat mekanis dan fisika terhadap pengaruh NaOH dan H₂O₂ sebagai bahan bleaching serat TKKS untuk pembuatan *biodegradable* pot dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Secara umum pada setiap variabel pengujian baik NaOH maupun H₂O₂ tidak mempunyai yang sangat kuat. Pada penggunaan NaOH sebagai pelarut koefisien paling tinggi terdapat pada variabel daya serap dan derajat putih. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH mempunyai pengaruh yang kuat pada peningkatan daya serap dan derajat keputihan tetapi menurunkan densitas serat TKKS. Semakin tinggi konsentrasi NaOH akan berdampak terhadap peningkatan daya serap dan derajat putih. Sedangkan pada penggunaan H₂O₂ sebagai pelarut koefisien paling tinggi terdapat variabel daya serap terhadap variable derajat putih dan degradasi serat TKKS. Semakin tinggi konsentrasi H₂O₂ akan menyebabkan peningkatan nilai daya serap terhadap derajat putih dan degradasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Harahap et al., (2025b), penurunan nilai densitas akan menyebabkan peningkatan persentase penyerapan air serta meningkatkan degradasi pot *biodegradable*.

KESIMPULAN

Peningkatan penggunaan pelarut NaOH dan H₂O₂ sebagai bahan bleaching memberikan dampak yang signifikan terhadap variabel daya serap, densitas, derajat putih, daya degradasi dan kuat tarik pada *biodegradable* pot. Ditinjau dari karakteristik fisik, konsentrasi pelarut yang digunakan pada tiap jenis pelarut berbeda-beda. Penggunaan NaOH terhadap *biodegradable* pot memberikan pengaruh peningkatan pada setiap variabel pengujian. Hasil terbaik terdapat pada konsentrasi NaOH 15% dengan hasil derajat putih 13,48%, kerapatan jenis 0,51 g.cm⁻³ dan daya serap 78,10%. Sedangkan pada penggunaan H₂O₂ sebagai pelarut variabel kuat tarik, derajat putih, daya serap dan kerapatan jenis mengalami peningkatan, sedangkan degradasi mengakibatkan penurunan nilai. Perlakuan H₂O₂ terbaik terdapat pada konsentrasi H₂O₂ 5% dengan hasil uji tarik 7,05 kg.cm⁻², derajat putih 22,89% dan kerapatan jenis 0,83 g.cm⁻³. Secara umum penggunaan H₂O₂ memberikan hasil sifat fisik yang baik pada *biodegradable* pot jika dibandingkan menggunakan NaOH. Perlu adanya evaluasi terhadap ikatan bahan perekat pada pembuatan *biodegradable* pot untuk mendapatkan *biodegradable* pot yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, H. A., Hishamuddin, E., Noorshamsiana, A. W., Ibrahim, Z., & Ilyas, R. A. (2024). Oil Palm Fiber Hybrid Composites: A Recent Review. *Journal of Renewable Materials*, 12(10), 1661–1689. <https://doi.org/https://doi.org/10.32604/jrm.2024.055217>

- Alsuwait, R. B., Bakare, A. O., Souiyah, M., Ganiyu, S. A., & Momohjimoh, I. (2024). Effect of treatment conditions on the morphology of date empty fruit bunch lignocellulosic fiber for biocomposite applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7, 100519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100519>
- Altwala, A., & Jabli, M. (2025). Extraction of cellulose from *Forsskaolea tenacissima* L through alkalization and bleaching processes: Characterization, and application to the adsorption of hazardous cationic dyes from water. *Results in Chemistry*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.102010>
- Anom,) *, Jati, S., Yopa,), Prawatya, E., Wicaksono, R. A., Program,), Mesin, S. T., Tanjungpura, U., Prof, J., & Nawawi, H. H. (2021). *Karakterisasi Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Sifat Fisis Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Perlakuan Alkali (NaOH)* (Vol. 2, Issue 1).
- Arianti, R., Violet, & Rahmadi, A. (2024). Sifat Fisika Pot Organik Dari Campuran Limbah Kulit Kayu Galam (*Melaleuca Leucadendron*), Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*), Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Dan Pupuk Organik. *Jurnal Sylva Scientiae*, 07(5), 827–833.
- Bhunja, A. K., Mondal, D., Sahu, K. R., & Mondal, A. K. (2023). Characterization of new natural cellulosic fibers from *Cyperus compactus* Retz. (Cyperaceae) Plant. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100286>
- Chairani Ritonga, P., Agustina Eka Putri, S., Setiawan, E., Desta Pramaysella, A., Kalo Bello Puyanggana, C., & Korespondensi, P. (2023). Efektivitas ekstraksi Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Absorben menggunakan Metode Delignifikasi dan *Bleaching*. In *Jurnal Teknologi Pertanian* (Vol. 24, Issue 3).
- Elmoudnia, H., Faria, P., Jalal, R., Waqif, M., & Saadi, L. (2023). Effectiveness of alkaline and hydrothermal treatments on cellulosic fibers extracted from the Moroccan *Pennisetum Alopecuroides* plant: Chemical and morphological characterization. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100276>
- Franco, J., Urdaneta, F., Cordoba, Y., Meza, L., Urdaneta, I., Jameel, H., & Gonzalez, R. W. (2025). Assessing bleached bamboo fibers as a hardwood replacement via kraft co-cooking for paperboard applications. *Industrial Crops and Products*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121252>
- Gupta, A., Shohel, S. M., Singh, M., & Singh, J. (2024). Study on mechanical properties of natural fiber (Jute)/synthetic fiber (Glass) reinforced polymer hybrid composite by representative volume element using finite element

- analysis: A numerical approach and validated by experiment. *Hybrid Advances*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100239>
- Harahap, H., Nasution, H., Manurung, R., Yustira, A., & Rashid, A. A. (2025a). Physical characteristics of *biodegradable* pots from empty fruit bunches (EFB) and sawdust waste as planting media. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101193>
- Harahap, H., Nasution, H., Manurung, R., Yustira, A., & Rashid, A. A. (2025b). Physical characteristics of *biodegradable* pots from empty fruit bunches (EFB) and sawdust waste as planting media. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101193>
- Komposisi *Biodegradable* pot Berbahan Dasar Ampas Kelapa untuk Meningkatkan Sifat Fisik-Mekanik *Biodegradable* pot dan Pertumbuhan Bibit Cabai Nunik Lestari, O., Rahmah, N., & Novitasari, E. (n.d.). "Membangun Negeri dengan Inovasi tiada Henti Melalui Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat" LP2M-Universitas Negeri Makassar.
- Li, M., M. N., P., Park, J., & Song, J. (2025). Flame-retardant innovations in bio-based treatments for lignocellulosic natural fibers: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 311, 143728. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143728>
- Li, M., Yin, J., Hu, L., Chen, S., Min, D., Wang, S., & Luo, L. (2020). Effect of hydrogen peroxide bleaching on anionic groups and structures of sulfonated chemo-mechanical pulp fibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 585, 124068. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124068>
- Mariappan Kadarkarainadar, M., Jawaid, M., & Asim, M. (2019). Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials. *Fibers*, 7, 32. <https://doi.org/10.3390/fib7040032>
- Mohammed, M., Jawad, A. J. afar M., Mohammed, A. M., Oleiwi, J. K., Adam, T., Osman, A. F., Dahham, O. S., Betar, B. O., Gopinath, S. C. B., & Jaafar, M. (2023). Challenges and advancement in water absorption of natural fiber-reinforced polymer composites. In *Polymer Testing* (Vol. 124). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108083>
- Mulia Raja, P., Maharany, R., Elfrida Marpaung, D., Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, P., & Studi Budidaya Perkebunan, P. (2023). *Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida (Naoh) Terhadap Kualitas Kertas Tisu Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)* (Vol. 6, Issue 1).

- Nusbah, S. S., Amir, M. M., Kalsum, U., & Bakhri, S. (2025). Pengembangan Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Bantuan Microwave Terhadap Hasil Lignin Removal. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 5(1), 22–32. <https://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JSThttps://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JST>
- Palm, O., Bunches, F., Dimawarnita, F., Faramitha, Y., & Widiastuti, H. (2023). *Impact of aeration on oil palm empty fruit bunches decomposition pengaruh aerasi pada dekomposisi tandan kosong kelapa sawit*. 33(2), 138–147.
- Permana, H. A., Delvitasari, F., Hartari, W. R., & Maryanti. (2024). Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Suhu Delignifikasi pada Kandungan Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 12(1), 51–58. <https://doi.org/10.25181/jaip.v12i1.2729>
- Raharjo, B. (2020). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Papan Partikel. *Indonesian Journal Of Laboratory*, 2(2), 1–9.
- Raju, J. S. N., Depoures, M. V., & Kumaran, P. (2021). Comprehensive characterization of raw and alkali (NaOH) treated natural fibers from *Symphirema involucratum* stem. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 886–896. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.061>
- 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(April), 100144. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100144>
- Ramakrishnan, T., Aravinth, K., Gokul Prasad, C., Singh, A., & Deepak Raja, S. (2023). Physiochemical investigation of untreated and alkali treated agave plant fiber. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.367>
- Saragih, A., Oktaviani, Oktorina, W. D., Ekawati, R., & Saputri, L. H. (2022). Inovasi Biopolybag Ramah Lingkungan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Diperkuat dengan Bahan Isian Sekam Padi. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 10(1), 65–76. <https://doi.org/10.25181/jaip.v10i1.2221>
- Sarono, S., Astuti, S., Cendikia, D., Supriyanto, S., & Sukanto, S. (2023). Harvesting Patterns of Merang Mushroom on Planting Media Empty Fruit Bunch. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 23(1), 119–126. <https://doi.org/10.25181/jppt.v23i1.2792>

- Sarono, S., Cendikia, D., Astuti, S., & Supriyanto, S. (2023). Production of Biogas and Compost from Fermented OPEFB used for Straw Mushroom Planting. *International Journal of Environmental Engineering and Development*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.37394/232033.2023.1.1>
- Sathish, S., Karthi, N., Prabhu, L., Gokulkumar, S., Balaji, D., Vigneshkumar, N., Ajeem Farhan, T. S., AkilKumar, A., & Dinesh, V. P. (2021). A review of natural fiber composites: Extraction methods, chemical treatments and applications. *Materials Today: Proceedings*, 45, 8017–8023. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1105>
- Sazuan, N. S. A., Zubairi, S. I., Mohd, N. H., & Daik, R. (2023). Synthesising injectable molecular self-curing polymer from monomer derived from lignocellulosic oil palm empty fruit bunch biomass: A review on treating Osteoarthritis. In *Arabian Journal of Chemistry* (Vol. 16, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104500>
- Shahril, S. M., Ridzuan, M. J. M., Majid, M. S. A., Bariah, A. M. N., Rahman, M. T. A., & Narayanasamy, P. (2022). Alkali treatment influence on cellulosic fiber from *Furcraea foetida* leaves as potential reinforcement of polymeric composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 2567–2583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.002>
- Supriyanto, & Sarono. (2020). *Pengaruh Penggunaan Substrat pada Pengomposan Secara Anaerob Menggunakan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dari Limbah Media Jamur Merang* (pp. 7(1), 50–66). Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian Dan Kehutanan. <https://doi.org/https://doi.org/10.33084/daun.v7i1.1606>
- Suriaman, I., Hendrarsakti, J., Mardiyati, Y., & Pasek, A. D. (2022). Synthesis and characterization of air filter media made from cellulosic ramie fiber (*Boehmeria nivea*). *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100216>
- Thoriq, A., Mas'ud, M., Halimatus Sa'diyah, S., & Pamungkas, B. (2022). Studi Pretreatment Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Karakterisasi Pemanfataannya Menjadi Kain Tenun dan Nitrenun Tekstil. *Arena Tekstil*, 37, 35–42.
- W, N. F., Oktafri, O., Asmara, S., & Kuncoro, S. (2022). Pemanfaatan Limbah Batang Singkong dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Bahan Dasar Pot Organik. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 1(3), 401. <https://doi.org/10.23960/jabe.v1i3.6336>
- Wahyuni Ardi, A., Muh Said, dan L., Fisika, J., Sains dan Teknologi, F., & Alauddin Makassar, U. (2016). Uji Kuat Tekan, Daya Serap Air dan Desitas

Material Batu bata dengan penambahan Agregat Limbah Botol Kaca. In *JFT. No.1* (Vol. 3).

Zamboni Schiavon, J., & de Oliveira Andrade, J. J. (2023). Comparison between alternative chemical treatments on coir fibers for application in cementitious materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 4634–4649. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.210>