



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

SAINSTEK

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



Analisis Sifat Mekanik Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Variasi Waktu Perendaman Serat dalam Larutan NaOH

Abdul Khair Junaidi^a, Adi Isra^b, Rinaldi^c, Koinardo^d, Sonix^e, Hafizah^f, Hardinal Hadi^g

^{a,b,c,d,e,f,g}Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara No.4, Pekanbaru, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 05 Mei 2026

Revisi Akhir: 22 Juni 2026

Diterbitkan *Online*: 27 Juni 2026

KATA KUNCI

komposit,
 tangkos,
 serat,
 kelapa sawit,
 hybrid

KORESPONDENSI

Telepon:

E-mail: abdulkhairjunaidi@gmail.com

ABSTRACT

Pertumbuhan industri kelapa sawit di Indonesia menghasilkan peningkatan limbah padat berupa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang pemanfaatannya masih terbatas. Pemanfaatan serat TKKS sebagai penguat (*reinforcement*) komposit menjadi solusi strategis. Penelitian ini menggunakan metode faktorial dengan variasi fraksi volume serat-resin (S-R) sebesar 25%:75% dan 50%:50%, serta variasi lama perendaman serat selama 2 jam dan 3 jam. Spesifikasi pengujian tarik mengacu pada standar internasional ASTM D3039 untuk lembaran datar berlapis (*flat strip laminate*). Peningkatan waktu perendaman dari 2 jam ke 3 jam menunjukkan tren linier positif terhadap nilai tegangan maksimum pada kedua variasi campuran. Kenaikan tegangan terbesar terjadi pada rasio S-R 25%:75% yaitu sebesar 43,20% (dari 15,58 N/mm² menjadi 22,31 N/mm²). Nilai tegangan tertinggi secara keseluruhan dicapai oleh rasio S-R 50%:50% pada perendaman 3 jam yaitu sebesar 23,16 N/mm². Di sisi lain, nilai regangan menunjukkan perilaku yang bertolak belakang; rasio S-R 25%:75% meningkat (dari 1,85 ke 2,35), sedangkan rasio S-R 50%:50% menurun tajam (dari 3,00 ke 1,95) karena peningkatan kekakuan material. Kekuatan tarik maksimum komposit dipengaruhi secara simultan oleh durasi perendaman alkali dan fraksi campuran serat-resin. Durasi perendaman selama 3 jam dengan fasa kerapatan serat 50% (rasio S-R 50%:50%) merupakan kondisi paling optimal untuk meningkatkan kekuatan struktural dalam menahan beban tarik.

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor komoditas terbesar di Indonesia yang terus mengalami peningkatan produksi setiap tahunnya. Namun, pertumbuhan industri ini berbanding lurus dengan peningkatan jumlah limbah padat yang dihasilkan, salah satunya adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Selama ini, pemanfaatan TKKS masih terbatas sebagai pupuk mulsa, dibakar, atau dibiarkan menumpuk hingga menimbulkan masalah pencemaran lingkungan [1].

Di sisi lain, tren teknologi material global saat ini mulai beralih dari bahan sintetik berbasis minyak bumi ke material yang ramah lingkungan, dapat diperbarui

(*renewable*), dan mudah terurai (*biodegradable*). Pemanfaatan serat TKKS sebagai penguat (*reinforcement*) dalam pembuatan material komposit menjadi salah satu solusi strategis untuk meningkatkan nilai ekonomis limbah tersebut sekaligus mengurangi ketergantungan pada serat sintetik seperti *fiberglass* [2].

Sebagai bahan penguat komposit, serat TKKS memiliki keunggulan seperti densitas rendah, biaya murah, tidak abrasif terhadap mesin, dan kekuatan spesifik yang relatif baik. Namun, kelemahan utama serat alam adalah sifatnya yang hidrofilik (suka air) karena mengandung komponen penyusun seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sifat hidrofilik ini bertolak belakang dengan matrik polimer (resin) yang umumnya bersifat hidrofobik (takut air) [3].

Ketidakcocokan sifat antarmuka (*interface*) antara serat dan matriks ini menyebabkan ikatan interfacial (*interfacial bonding*) menjadi lemah. Akibatnya, transfer tegangan dari matriks ke serat tidak berjalan optimal, yang memicu terjadinya cacat seperti rongga (*void*) atau pelepasan serat (*delamination*), sehingga menurunkan sifat mekanik komposit tersebut [4].

Proses perendaman dalam larutan NaOH bertujuan untuk membersihkan permukaan serat dari lapisan lilin (*wax*), lignin, dan hemiselulosa. Pengikisan komponen non-selulosa ini akan menghasilkan permukaan serat yang lebih kasar (meningkatkan *mechanical interlocking*) dan memaparkan lebih banyak gugus hidroksil untuk berikatan dengan matriks. Oleh karena itu, diperlukan sebuah kajian yang sistematis untuk menemukan durasi perendaman yang paling optimal. Berdasarkan batasan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan waktu perendaman serat TKKS dalam larutan NaOH guna menganalisis pengaruhnya terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan, seperti kekuatan tarik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Komposit

Material komposit didefinisikan sebagai kombinasi dari dua atau lebih material yang memiliki sifat fisik dan kimia berbeda, di mana fasa-fasa tersebut tidak saling melarutkan melainkan tetap terpisah secara makroskopis dengan adanya batas antarmuka yang jelas. Melalui penggabungan ini, material komposit menghasilkan karakteristik mekanik yang baru dan lebih unggul dibandingkan dengan sifat material penyusunnya secara individual [5].

Secara struktural, material komposit tersusun atas dua komponen atau fase utama, yaitu:

1. **Matriks (Fase Kontinu):** Berfungsi sebagai perekat atau pengikat, pelindung serat dari kerusakan lingkungan (kimia atau mekanis), serta media pemindah dan pendistribusi tegangan/beban luar ke komponen penguat [6].
2. **Penguat / Reinforcement (Fase Dispersi):** Berfungsi sebagai penopang beban utama pada komposit. Penguat umumnya memiliki kekuatan dan kekakuan yang jauh lebih tinggi daripada matriks. Penguat dapat berbentuk serat kontinu (*continuous fibers*), serat pendek (*short/discontinuous fibers*), maupun partikel (*particulate*) [7].

2.2 Matriks

Dalam sistem material komposit, matriks berfungsi sebagai fasa kontinu yang mengikat material penguat di tempatnya secara presisi. Selain memberikan bentuk geometris pada komponen akhir, matriks memegang peran

esensial dalam mentransfer dan mendistribusikan beban eksternal ke material penguat. Lebih lanjut, fasa matriks bertugas melindungi permukaan serat dari kerusakan mekanis (abrasi) serta degradasi lingkungan seperti korosi, oksidasi, maupun paparan zat kimia [8].

Komposit matriks polimer (PMC) mendominasi industri komposit modern karena menawarkan kemudahan fabrikasi, suhu pemrosesan yang relatif rendah, dan rasio kekuatan terhadap bobot yang sangat tinggi. Matriks polimer diklasifikasikan menjadi dua kategori utama: polimer termoset dan termoplastik. Matriks termoset, seperti resin epoksi dan poliester tak jenuh, membentuk ikatan silang tiga dimensi yang memberikan kekakuan dan stabilitas termal tinggi setelah proses *curing*. Di sisi lain, matriks termoplastik, seperti polipropilena (PP) dan polietilena (PE), semakin diminati karena daktilitasnya yang unggul, ketangguhan retak yang baik, serta kemampuannya untuk didaur ulang [4].

2.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah lignoselulosa padat terbesar dari industri pengolahan minyak kelapa sawit yang sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai penguat komposit. Secara struktural, serat TKKS tersusun atas komponen kimia utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sifat mekanis dari serat ini sangat ditentukan oleh kandungan selulosanya, yang bertindak sebagai komponen struktural utama yang memberikan kekuatan tarik dan kekakuan pada serat [9].

2.4 Sifat Mekanik Material Komposit

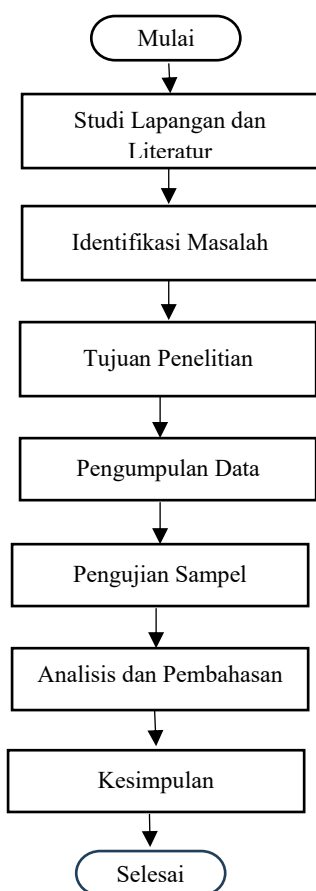
Sifat mekanik material komposit mendeskripsikan perilaku material tersebut ketika dikenai beban eksternal. Berbeda dengan material logam homogen yang cenderung isotropik, komposit menunjukkan sifat mekanik yang sangat bergantung pada banyak variabel struktural. Sifat mekanik gabungan ini ditentukan oleh properti intrinsik dari masing-masing fasa penyusun (serat dan matriks), persentase fraksi volume, geometri dan orientasi serat, serta kekuatan ikatan antarmuka. Secara teoritis, pada komposit dengan orientasi serat kontinu dan searah, modulus elastisitas komposit searah serat dapat diprediksi menggunakan prinsip Hukum Campuran (*Rule of Mixtures*) [6].

Secara keseluruhan, sifat mekanik komposit bersifat **Anisotropik**, artinya sifatnya berubah-ubah tergantung pada arah mana kita memberikan beban. Hal ini berbeda dengan logam yang umumnya **Isotropik** (kekuatannya sama ke segala arah). Inilah alasan mengapa dalam perancangan komposit diperlukan menghitung dengan cermat arah pembebanan yang akan diterima oleh struktur [10].

3. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode factorial dengan fraksi volume serat dan matriks 25% :75% dan 50%:50% dan variasi lama perendaman serat tandan kosong kelapa sawit 2 jam dan 3 jam. Metode pengujian tarik digunakan dalam penelitian ini dengan spesifikasi mengacu pada standar internasional pengujian polimer/komposit yaitu ASTM D3039. Standar ini digunakan pada lembaran datar (*flat strip*) berlapis (*laminated*).

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat tandan kosong kelapa sawit yang dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan. Langkah penelitian dilakukan secara bertahap. Pertama, dilakukan persiapan dan pembuatan 4 buah sampel komposit yang terdiri dari variasi perendaman 2 jam dan 3 jam. Pembuatan sampel menggunakan teknik pengolahan tertentu untuk mendapatkan kualitas material yang homogen. Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan mengolah hasil uji tarik berupa data perbandingan lama perendaman serat dengan tegangan yang terjadi. Tahapan penelitian digambarkan melalui diagram alir dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

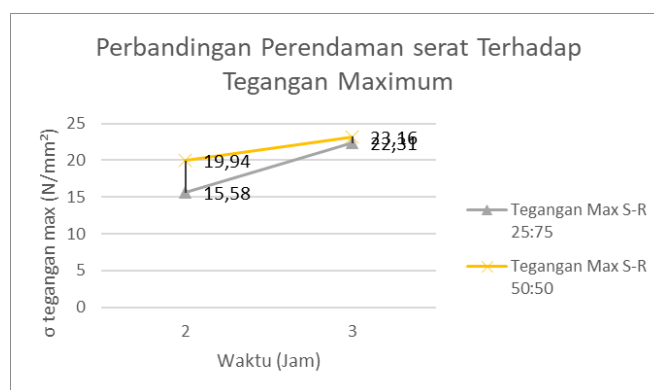
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik komposit serat tandan kosong kelapa swit dengan perlakuan alkali 2 jam dan 3 jam dengan fraksi Serat dengan Resin 25%:75%, dan 50%:50% seperti ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik Perbandingan waktu perendaman serat dengan tegangan dan regangan

Fraksi Serat-Resin	Waktu Perendaman Serat	σ tegangan max (N/mm ²)	Regangan
S25% : R75%	2 Jam	15,58	1,86
S25% : R75%	3 Jam	22,31	2,34
S50% : R50%	2 Jam	19,94	2,99
S50% : R50%	3 Jam	23,16	1,96

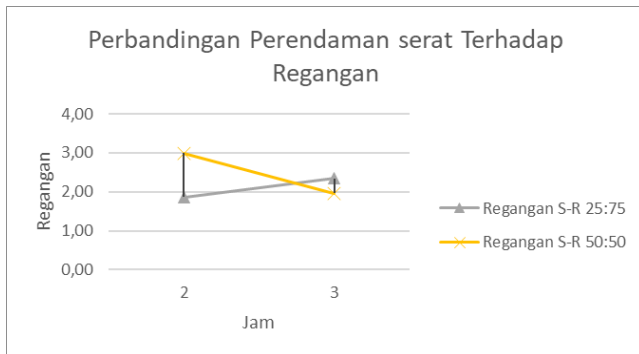


Gambar 2. Perbandingan Perendaman serat terhadap Tegangan Maximum

Pada Grafik menunjukkan tren yang linier positif, di mana peningkatan waktu perendaman dari 2 jam ke 3 jam terbukti meningkatkan nilai tegangan maksimum pada kedua variasi rasio campuran. Peningkatan Signifikan pada Rasio 25%:75%. Kenaikan tertinggi terjadi pada rasio S-R 25%:75% yaitu sebesar 43,20% dari 15,58 N/mm² naik menjadi 22,31 N/mm². Pada rasio S-R 50%:50%, peningkatan kekuatan tarik cenderung lebih landai namun tetap naik sebesar 16,15% hingga mencapai titik tertinggi grafik di 23,16 N/mm².

Perendaman dalam larutan NaOH (alkalisasi) selama 3 jam memberikan waktu yang lebih optimal bagi larutan kimia untuk mendegradasi dan membersihkan lapisan pengotor alami fasa serat alam (seperti lignin, hemiselulosa, dan zat lilin). Hal ini mengekspos topografi permukaan serat menjadi lebih kasar secara mikro. Permukaan yang kasar ini meningkatkan mekanisme *mechanical interlocking*

(penguncian mekanis) dan efisiensi pembasahan (*wetting*) matriks resin terhadap serat, sehingga transfer tegangan saat ditarik menjadi jauh lebih efektif. Menipisnya selisih kekuatan pada perendaman 3 jam mengindikasikan bahwa pada rasio serat yang tinggi (50%), penambahan waktu perendaman mulai mendekati titik jenuh, atau jumlah matriks resin (50%) sudah berada di batas minimal untuk membasahi seluruh permukaan serat secara merata tanpa menimbulkan rongga (*void*).



Gambar 3. Perbandingan Perendaman Serat terhadap Regangan

Pada gambar 3 menunjukkan hasil yang berbeda dengan grafik tegangan maksimum sebelumnya yang keduanya konsisten naik, nilai regangan (*strain*) pada gambar 3 menunjukkan perilaku yang bertolak belakang. Rasio S-R 25%:75% menunjukkan tren meningkat. Pada perendaman 2 jam, nilai regangan berada di sekitar 1,85, kemudian naik menjadi sekitar 2,35 pada perendaman 3 jam. Rasio S-R 50%:50% menunjukkan tren menurun tajam. Pada perendaman 2 jam, regangan mencapai titik tertinggi yaitu 3,00, namun turun drastis menjadi sekitar 1,95 pada perendaman 3 jam.

Pada perendaman 2 jam dengan kandungan serat yang padat (50%), nilai regangan sangat tinggi (3,00) namun tegangannya rendah. Hal ini mengindikasikan terjadinya fenomena serat tergelincir (*fiber slippage*). Karena perendaman 2 jam belum cukup bersih menghilangkan lapisan lilin dan lignin pada serat TKKS, ikatan antarmuka dengan resin masih lemah. Saat ditarik, serat mudah bergeser di dalam matriks (*debonding*), menghasilkan perpanjangan semu (regangan tinggi) sebelum akhirnya putus.

Pada waktu perendaman dinaikkan menjadi 3 jam, larutan NaOH berhasil membuka pori-pori selulosa dan menciptakan kekasaran mikro yang optimal pada serat. Akibatnya, terjadi penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) yang sangat kuat antara serat dan resin. Ikatan yang sangat kokoh ini membatasi pergerakan rantai polimer dan mencegah serat tergelincir. Material berubah menjadi lebih kaku (*stiff*) dan kuat, sehingga ketika diberi

beban tarik, ia tidak lagi mulur (regangan turun ke 1,95) melainkan langsung menahan beban secara rigid hingga mencapai kekuatan puncaknya.

5. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, kekuatan tarik maksimum komposit dipengaruhi secara simultan oleh durasi perendaman alkali dan fraksi campuran serat-resin. Nilai tegangan tertinggi sebesar 23,16 N/mm² dicapai oleh komposit dengan rasio S-R 50%:50% dengan waktu perendaman 3 jam. Hal ini membuktikan bahwa durasi perendaman 3 jam merupakan kondisi yang optimal untuk meningkatkan kompatibilitas antarmuka fasa tanpa merusak struktur selulosa intrinsik serat, sementara fasa kerapatan serat 50% memberikan kontribusi struktural maksimum dalam menahan beban Tarik.

Karakteristik regangan komposit TKKS sangat dipengaruhi oleh rigiditas ikatan antarmuka. Pada fraksi serat tinggi (50%:50%), optimalisasi perendaman selama 3 jam meningkatkan kekakuan material secara signifikan, ditandai dengan penurunan regangan menjadi 1,95 namun menghasilkan kekuatan tarik tertinggi. Sebaliknya, pada fraksi resin yang dominan (25%:75%), perendaman 3 jam memperbaiki distribusi tegangan di dalam matriks yang daktail, sehingga meningkatkan kemampuan regangan material sebelum mengalami perpatahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurato, Muhamad Fitri dan Lamar Anton Manalu (2019), Pengaruh prosentase serat kelapa sawit terhadap umur fatik beban aksial komposit matriks resin. *ROTASI*. Vol. 21 no. 4. Pp. 215-223. <https://doi.org/10.14710/rotasi.21.4.215-223>.
- [2] Mujiyanto, Agus, dan Hery Tri Waloyo. "Studi Kelayakan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat Komposit Untuk Aplikasi Lambung Kapal." *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 15, no. 01, Juni 2023, hlm. 74–81. DOI.org (*Crossref*), <https://doi.org/10.33504/manutech.v15i01.270>.
- [3] Suparno, Wisna, dkk. "Studi Karakteristik Sifat Mekanik Biokomposit Berpenguat Serat Acak Dan Bubuk Tandan Kosong Kelapa Sawit-Polyester Menggunakan Perlakuan Alkali Dan Potassium Permanganate." *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, 2022, hlm. 46–51. jurnal.untan.ac.id, <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/51390>.
- [4] Callister, Nurdin, Akhmad, dkk. "Pengaruh Alkali Dan Fraksi Volume Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Akar Wangi – Epoxy." *ROTASI*, vol. 21, no. 1, April 2019, hlm. 30–

35. ejournal.undip.ac.id,

<https://doi.org/10.14710/rotasi.21.1.30-35>.

- [5] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- [6] Gibson, R. F. (2016). *Principles of composite material mechanics* (4th ed.). CRC Press.
- [7] Hull, D., & Clyne, T. W. (1996). *An introduction to composite materials* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [8] Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: Science and engineering* (3rd ed.). Springer Science & Business Media.
- [9] 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.
- [10] Kiki Riskianti Nanda dan Winda Dwi Puspita. "Rekayasa Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Material Komposit Ramah Lingkungan." *Journal of New Trends in Sciences*, vol. 2, no. 3, Agustus 2024, hlm. 01–10. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.59031/jnts.v2i3.757>.
- [11] Yulianto, Dodi dan Saprimandianto., 2016, Analisa Sifat-Sifat Mekanikal Bahan Komposit Campuran Serat Pelepah Sawit Dengan Serat Pelepah Kelapa. Pekanbaru: Jurnal Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
- [12] M. S. Huda, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, M. Misra. ³Effect Of Chemical Modifications of the Pineapple Leaf Fiber Surfaces on the Interfacial and Mechanical Properties of Laminated Biocomposites. *Composite Interfaces* 15 (2008) 169±91.
- [13] Hull Derek, *Introduction to Composite Materials*, First Pub., New York: Cambridge University Press, 1981.
- [14] Goda, I., & Ahmed, K. I. (2015). "On the Anisotropy of Elastic Properties of Composite Materials.