



KARAKTERISTIK FISIK, KIMIA, MEKANIK DAN THERMAL DARI SERAT SELULOSA PANDAN BALI SEBAGAI PENGUAT KOMPOSIT POLIMER

PHYSIC, CHEMICAL, MECHANIC AND THERMAL CHARACTERIZATION OF CELLULOSE FIBER FROM BALINESE PANDAN AS POLYMER COMPOSITES REINFORCEMENT

Suteja^{1*}, Syarif Hidayatullah², Nasmi Herlina Sari³, Ahmad Akromul Huda⁴

^{1 2 3 4} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mataram, Indonesia

*Co-author : suteja@unram.ac.id

Article History:

Received : 04-06-2026

Revised : 12-06-2026

Accepted : 19-06-2026

Online : 20-06-2026

Keywords:

Natural Fiber;
Balinese Pandan Fiber;
NaOH Treatment;
Tensile Strength;
Biocomposite

Kata Kunci:

Serat alam;
Serat pandan bali;
Perlakuan NaOH;
Kekuatan Tarik;
Biokomposit



Abstract: Natural fibers as reinforcements for biocomposites continue to be investigated from various sources that are beneficial to both humans and the environment. This study aims to investigate the characteristics of *Cordyline australis* fibers, or Balinese pandan fibers (CAf)—which are sustainable and eco-friendly—following treatment with a NaOH solution for use as reinforcements in polymer composites. Bali pandan leaves were soaked for 7–10 days until decomposition occurred and then combed with a steel comb to remove the fiber pulp. The Bali pandan fibers (CAf) were then soaked in a 5% (wt/v) NaOH solution for 2 hours and thoroughly washed until the pH reached neutral. The characteristics of raw CAf and 5% (wt/v) NaOH-treated CAf include physical, mechanical, chemical, and thermal properties. The findings of the investigation show that the tensile strength of CAf increased from 436.15 ± 35.5 MPa to 848.15 ± 57.46 MPa after treatment with 5% (wt/v) NaOH. The surface roughness of CAf reached $2.35 \mu\text{m}$ following treatment with 5% NaOH (wt/v) due to the dissolution of amorphous compounds and erosion of the wax layer. The thermal stability of CAf reached 700°C with a char decomposition rate of 28.29%. These findings offer a new and renewable fiber option for use as a composite reinforcement.

Abstrak: Serat alam sebagai penguat biokomposit terus diinvestigasi dari berbagai sumber yang bersahabat bagi manusia dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan menginvestigasi karakteristik serat *Cordyline australis* atau serat pandan bali (CAf) yang *sustainable* dan *ecofriendly* akibat perlakuan larutan NaOH untuk dijadikan penguat komposit polimer. Daun pandan bali direndam selama 7-10 hari sampai terjadi pembusukan dan disisir dengan sisir baja untuk menghilangkan daging serat. Serat pandan bali (CAf) selanjutnya direndam dalam larutan kimia NaOH 5% (wt/v) selama 2 jam dan dicuci bersih hingga pH netral. Karakteristik *raw* CAf dan CAf *treated* (5% wt/v) meliputi fisik, mekanik, kimia dan ketahanan termal. Temuan investigasi menunjukkan bahwa kekuatan tarik CAf 436.15 ± 35.5 MPa menjadi 848.15 ± 57.46 MPa setelah diperlakukan NaOH 5% (wt/v). Kekasaran permukaan mencapai $2.35 \mu\text{m}$ CAf akibat perlakuan NAOH 5% (wt/v) karena larutnya senyawa *amorf* dan erosi lapisan wax. Ketahanan termal CAf mencapai 700°C dengan penguraian char 28.29%. Temuan serat baru ini memberikan tawaran serat baru dan terbarukan sebagai penguat komposit.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

A. LATAR BELAKANG

Eksplorasi sumber serat alam baru terus diinvestigasi dan dikembangkan sebagai sumber penguat komposit polymer, trend ini dikarenakan sifat murah, terbarukan, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Klippathum et al., 2026; Suteja, Hidayatullah, Gapsari, et al., 2025). Serat alam dapat diekstrak dari daun, kulit batang dan akar pohon dan dominan berbentuk lapisan lembaran, rambut dengan struktur yang sangat unik (Daget et al., 2025). Serat alam menawarkan *high specific strength*, proses mudah dan menawarkan potensi lain sebagai pengganti serat sintesis (Raja et al., 2025).

Daun CAF yang berupa limbah alami dan tidak termanfaatkan menawarkan serat selulosa yang potensial sebagai penguat komposit ataupun material nanoselulosa untuk aplikasi aplikasi biokomposit, biomedis dan *drug delivery* (Elfaleh et al., 2023). Serat alam dari tanaman seperti serat timoho (Gapsari et al., 2021), serat kapok (Suparjon et al., 2023), serat *Paederia foetida* (Herlina Sari et al., 2024) dan menunjukkan potensi menjanjikan sebagai penguat komposit akan tetapi metode ekstraksi sebagian besar masih menggunakan metode panen tanaman secara langsung (Dago et al., 2023).

Karakteristik serat alam pada dasarnya sangat tergantung dari senyawa yang terkandung di dalamnya seperti hemiselulosa, lignin, selulosa, wax dan pengotor lainnya (Eleutério et al., 2025). Senyawa-senyawa tersebut menentukan kekuatan mekanik, sifat mekanik, kimia, termal dan penyerapan airnya. Senyawa hemiselulosa, lignin dan pengotor berakibat buruk terhadap ikatan dengan matrik polymer (Samanth & Subrahmanya Bhat, 2023). Senyawa tersebut juga meningkatkan sifat hidrofilik dan kerentanan terhadap air yang merusak performa komposit (Umachitra et al., 2026). oleh karena ini, sebelum aplikasi lanjut, serat alam membutuhkan perlakuan permukaan terlebih dahulu untuk mendapatkan performa maksimal. Perlakuan kimia seperti alkali, silane, dan senyawa enzim (Hindi et al., 2025) terkenal mampu memperbaiki meningkatkan kekasaran permukaan serat, ikatan serat dengan matrik sehingga meningkatkan performa komposit, mikrofibril serat (Mohammed et al., 2022).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan perlakuan NaOH menghasilkan peningkatan yang signifikan pada kekuatan tarik semua serat (serat lidah buaya, serat pisang, dan serat kulit jagung). Di antara serat-serat tersebut, serat pisang menunjukkan nilai tertinggi, mencapai 189,7 MPa. Serat-serat yang telah diperlakukan NaOH juga menunjukkan rasio aspek yang meningkat, terutama pada serat pisang (178,57), yang mengindikasikan potensi penguatan yang lebih tinggi. Penggunaan mikroskop elektron pemindai (SEM) menunjukkan bahwa perlakuan tersebut menghasilkan morfologi permukaan yang menjadi kasar (Purushothaman et al., 2024). Kassa et al., (2025) telah menginvestigasi Pengaruh Konsentrasi NaOH (0%, 2,5%, dan 5%) terhadap Sifat Mekanik Komposit Poliester yang Diperkuat Serat Pisang. Dalam laporan mereka melaporkan bahwa, Kekuatan tarik, lentur, dan benturan maksimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 5% (masing-masing sebesar 61,4 MPa, 108,33 MPa, dan 19 J). Demikian pula, tingkat penyerapan air minimumnya adalah 2,97% pada perlakuan NaOH konsentrasi 5%. Selanjutnya, NaOH 5% pada *Calathea lutea fiber* (CLF) meningkatkan secara signifikan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan indeks kekeristalan masing-masing mencapai 182.34 MPa, 12.70 GPa dan 49.16 % dari CLF tanpa perlakuan (Zulkarnain et al., 2025). Oleh karena itu, gap penelitian dari penelitian ini adalah karakteristik serat pandan bali (CAF) akibat perlakuan NaOH 5% (wt) dan potensinya sebagai penguat komposit polimer.

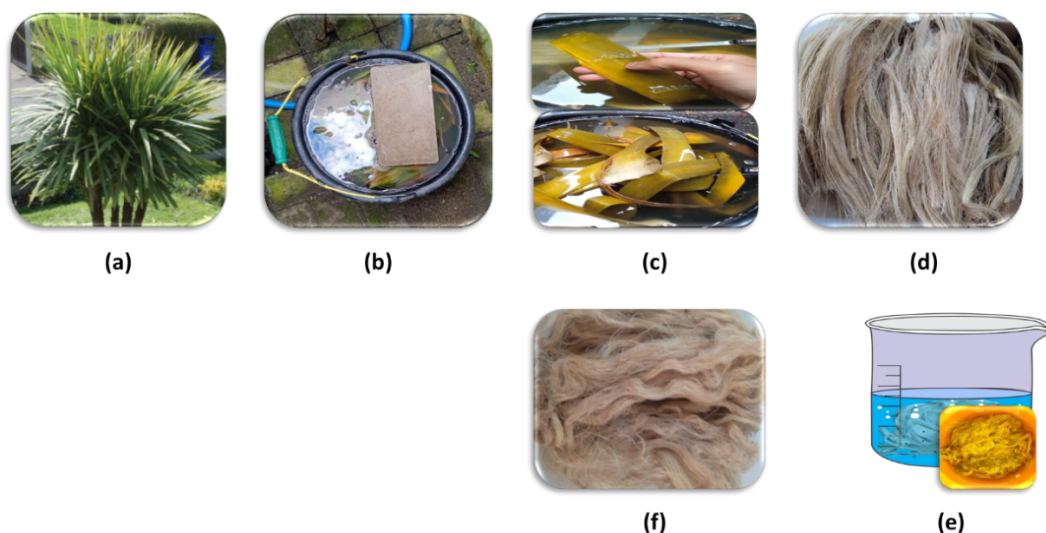
Investigasi ini bertujuan mengisi kesenjangan penelitian sebelumnya yaitu mengevaluasi potensi dari CAF sebagai penguat berkelanjutan dengan perlakuan NaOH. Permasalahan utama yang dibahas dalam investigasi ini adalah potensi serat alam CAF dengan kinerja yang ditingkatkan melalui metode

perlakuan NaOH untuk pengembangan material komposit serat alam yang lebih berkelanjutan. oleh karena itu, sangat penting untuk dipahami dan dilakukan investigasi dan karakteristik menyeluruh terkait sifat fisik, kimia mekanik dan termal dari CAF akibat perlakuan NaOH.

B. METODE PENELITIAN

1. Proses pengambilan serat CAF

Daun *Cordyline australis* atau pandan bali dalam penelitian ini dikumpulkan dari daun pandan bali yang cukup tua (terjadi kekuningan di ujung daun) dikumpulkan dari pinggir jalan Majapahit kota Mataram. Proses ekstraksi serat daun pandan bali ditampilkan pada **Gambar 1**. Sekumpulan daun pandan bali (gambar 1b) direndam dalam bak berisi air selama 7 – 10 hari untuk proses pembusukan oleh mikro biologi (Gapsari et al., 2022). Serat daun pandan bali (gambar 1c) dipisahkan dan dibersihkan secara manual dengan sisir baja. Serat daun pandan bali yang terkumpul dicuci bersih dengan air sebanyak 5 siklus untuk menghilangkan kotoran-kotoran daging serat yang menempel dan kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan selama 2 hari. Raw CAF dan CAF dengan perlakuan selanjutnya siap dikarakterisasi.



Gambar 1. Ekstraksi dan perlakuan kimia CAF; a) tanaman pandan bali, b) perendaman daun pandan bali, c) pengambilan serat, d) serat pandan bali (*raw CAF*), e) proses perlakuan kimia CAF, f) serat CAF perlakuan kimia.

2. Perlakuan CAF dengan NaOH

CAF mentah hasil ekstraksi diperlakukan permukaan dengan NaOH 5% (wt/v) selama 120 menit dalam suhu ruangan Mereka kemudian dicuci bersih dengan aquades sebanyak lima kali dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 40 °c selama 2 jam, kemudian disimpan di dalam plastic kedap udara. Perlakuan permukaan dengan NaOH diharapkan mampu meningkatkan kekasaran permukaan untuk meningkatkan ikatan perekat polimer serta membantu dalam mengkonversi bentuk nanokristalin selulosa menjadi selulosa.

3. Karakterisasi

3.1 *Fourier transform infrared (FTIR)*

Pengujian FTIR menggunakan tipe 8400S/Shimadzu resolusi 4.0 cm^{-1} , untuk mengungkapkan berbagai ikatan gugus fungsi yang ada, peregangan yang berbeda dengan gugus fungsi yang terdapat dalam sampel CAF. Pembacaan spektrometer dijalankan dengan Panjang gelombang 4000 cm^{-1} sampai 450 cm^{-1} dan scan rate 10/ menit menggunakan bubuk KBr sebagai matrik (1 mg).

3.2 Kekasaran Permukaan Test

Kekasaran permukaan CAF diukur dengan menggunakan Mitutoyo SJ 210. Pengujian ini dilakukan untuk mengamati kekasaran permukaan yang menentukan ikatan *interface* dengan matrik. Ikatan interface yang baik akan menghasilkan kekuatan komposit yang baik juga. Terdapat 40 kali pengujian kekasaran permukaan CAF dengan 10 titik uji untuk setiap sampel.

3.3 Scanning electron microscopy (SEM)

Sampel CAF berbeda diamati morphology permukaan dengan SEM (FEI inspect S-50). Sampel dilapisi terlebih dahulu dengan emas tipis untuk mencegah akumulasi muatan listrik dalam proses pengamatan. Pengamatan sem ini dioperasikan dengan tegangan 20 kV dan pembesaran 1000 kali pembesaran.

3.4 Single fiber tensile test

Pengujian tarik CAF tanpa dan dengan perlakuan mengacu pada standar ASTM D3379-75 menggunakan alat uji Universal Tensilon RTG 1310 dengan pembebanan maksimum 10 kN. CAF dipisahkan dari bundel serat dengan lebar 3 mm dan Panjang 80 mm serta Panjang ukur (*gauge length*) 40 mm. pengujian ini dijalankan pada temperatur 26.7 °C dan kelembaban relatif sebesar 56%.

3.5 Thermogravimetric analysis (TGA) test

Stabilitas CAF terhadap perubahan panas diukur dan dianalisis dengan termogravimetri (TGA) (TGA-1 Mettler Toledo). Sekitar 7-10 mg bubuk CAF ditempatkan pada wadah alumina 50 µl. Pengukuran perubahan berat sampel dilakukan dari temperatur 27 °C hingga 1000 °C, menggunakan laju pemanasan dan aliran nitrogen masing-masing 10 °C dan 50 ml/menit.

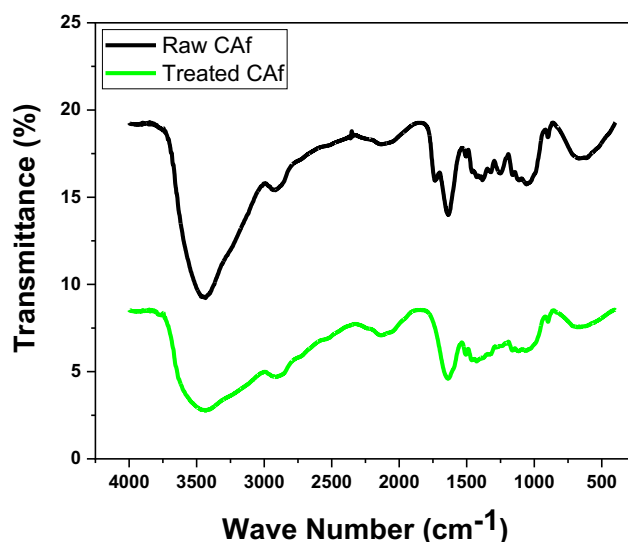
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Fourier transform infrared (FTIR)

Spektra FTIR untuk menganalisis gugus fungsi komponen kimia dari CAF disajikan pada **Gambar 2**. Secara keseluruhan CAF menunjukkan bilangan gelombang dengan kandungan utama berupa lignin, hemiselulosa, air dan selulosa yang penting dalam pengembangan sebagai penguat komposit. serapan berbentuk U dan yang pertama terjadi pada bilangan gelombang 3435.63 dan 3435.06 cm⁻¹ masing-masing untuk sampel *Raw* CAF dan CAF dengan perlakuan NaOH. Serapan pada bilangan gelombang tersebut mengindikasikan getaran regangan dari O-H terhadap ikatan kelompok *hydroxyl*, yang mengkonfirmasi hadirnya Cellulose I. Pita serapan selanjutnya 2915.21 dan 2913.9 cm⁻¹ untuk *Raw* CAF dan CAF dengan perlakuan NaOH serapan bilangan ini mengindikasikan karakteristik dari C-H dari regangan getaran CH and CH₂ muncul dalam senyawa selulosa dan hemiselulosa (Rajeshkumar et al., 2021). Kelompok fungsional dari nitriles dan alkynes muncul di semua jenis sampel pada pita serapan bilangan gelombang 2130.94 dan 2133.77 cm⁻¹ berturut-turut untuk *raw* CAF dan CAF dengan perlakuan NaOH. Senyawa ini muncul akibat peregangan dari peregangan C≡C dan struktur peregangan ikatan C-N. Puncak serapan bilangan gelombang selanjutnya hanya terdeteksi pada sampel *raw* CAF saja dan cukup mencolok yaitu bilangan 1732.31 cm⁻¹ yang mengindikasikan yang disebabkan oleh getaran dan peregangan C=O, yang dikaitkan dengan asam alfa-ketokarboksilat yang terdapat dalam lignin (Saravanakumar et al., 2013). Serapan pada bilangan gelombang 1638.3 dan 1639 cm⁻¹ menunjukkan peregangan ikatan C=C, yang

mewakili komponen lignin dalam CAf. Ketajaman pita serapan bilangan gelombang ini terus berkurang dengan adanya perlakuan NaOH.

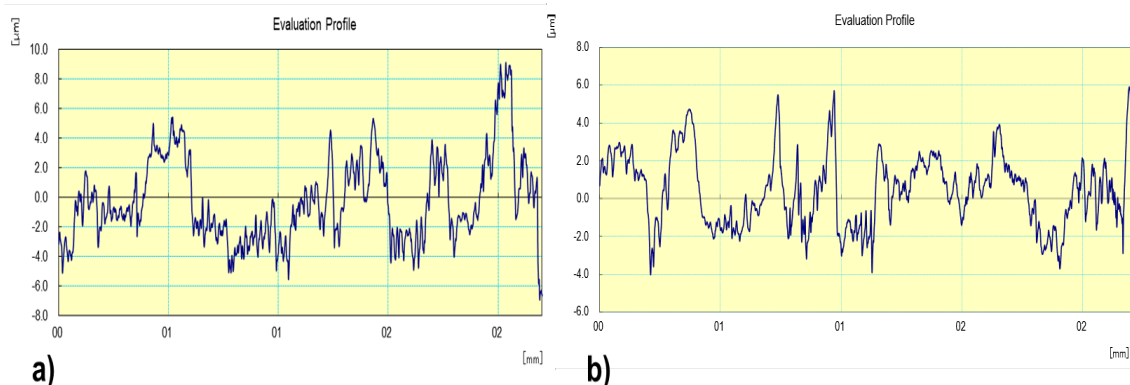
Serapan bilangan gelombang terjadi pada 1320.32 cm^{-1} hanya terjadi pada *raw* CAf yang masing-masing mengindikasikan peregangan C–H pembengkokan getaran pada komponen selulose and hemiselulose serta C – H ikatan ikat dari struktur gugus fungsi alkana (selulose, hemiselulose and lignin). Pada sampel CAf perlakuan NaOH tidak muncul lagi karena perubahan struktur menjadi yang lebih kristalin melalui pelarutan senyawa nonselulosa (Saravanakumar et al., 2013). Selanjutnya, serapan pada bilangan gelombang *raw* CAf 1057.39 cm^{-1} dan CAf perlakuan NaOH 1061.25 cm^{-1} karena getaran dan peregangan ikatan C–H dan C–O, yang disebabkan oleh polisakarida (tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dan ikatan hidrogen yang lebih kuat) dari cincin aromatik dalam hemiselulosa. Jaringan β -glikosida dari senyawa selulosa I muncul pada serat *raw* CAf dan CAf perlakuan NaOH dengan bilangan gelombang 899.52 cm^{-1} dan 898.51 cm^{-1} berturut-turut. Pita serapan terakhir terjadi pada bilangan gelombang dari 669.42 cm^{-1} (sampel *raw* CAf) kemudian berubah menjadi 674.29 cm^{-1} (sampel CAf perlakuan NaOH) disebabkan pembengkokan simetris CH_2 pada pita pembengkokan COOH , yang terutama terkait dengan pembengkokan C–OH, dan intensitasnya cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya usia tanaman (R et al., 2023). Berdasarkan analisis di atas, hasil FTIR pada CAf mengonfirmasi adanya gugus fungsi yang terdapat pada komponen utama serat alami, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin.



Gambar 2. kurva FTIR CAf.

2. Kekasaran Permukaan

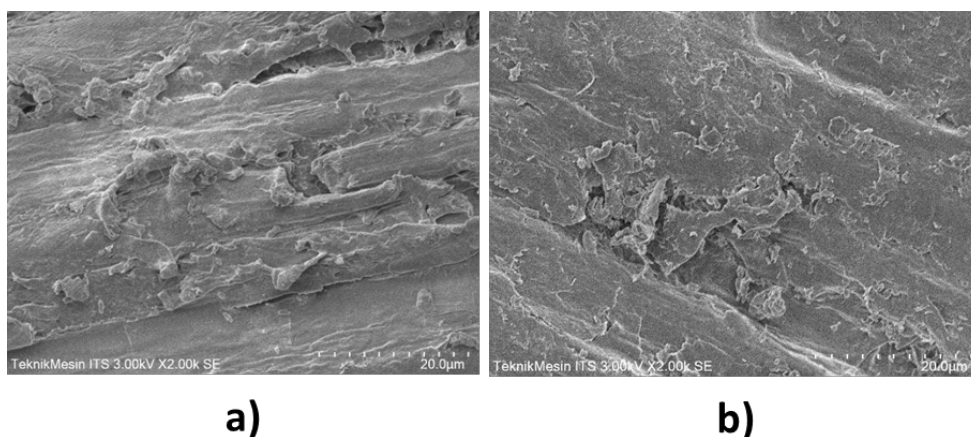
Gambar 3 menampilkan permukaan profil kekasaran permukaan *raw* CAf dan CAf perlakuan NaOH. Kekasaran permukaan CAf mengalami kenaikan secara signifikan dengan adanya perlakuan kimia NaOH. *Raw* CAf memiliki kekasaran permukaan yaitu $1.579\text{ }\mu\text{m}$ kemudian meningkat menjadi $2.352\text{ }\mu\text{m}$ dengan adanya perlakuan kimia NaOH. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan NaOH mampu mengerosi senyawa *amorf* pada permukaan CAf (Ali et al., 2025) seperti lignin, lilin dan sebagian kecil hemiselulosa pada permukaan CAf. Hasil pengukuran kekasaran permukaan CAf ini menunjukkan kesesuaian pada pengamatan morfologi permukaan SEM. Permukaan CAf yang kasar cenderung untuk membentuk kemampuan mekanikal *interlocking* yang kuat ketika dijadikan penguat komposit polimer. Perlakuan NaOH CAf mampu memperkokoh mikro selulosa (senyawa lignin dan hemiselulosa) melalui proses hidrolisis dengan larutan alkali (Gapsari et al., 2023).



Gambar 3. Profil pola kekasaran permukaan; a) *raw* CAF, b) CAF dengan perlakuan NaOH.

3. Scanning electron microscopy (SEM)

SEM mikrograph dari CAF disajikan pada **Gambar 4**. Gambar 4a menyajikan permukaan *raw* CAF yang tersusun oleh sel-sel atau bagian poligonal yang tidak beraturan. Pada masing-masing bagian polygonal masih tampak tertutup oleh endapan lapisan non polar – material seperti hemiselulosa, lignin dan wax serta pengotor lainnya (Prabhu et al., 2021). Serat CAF memiliki bentuk lurus seperti rambut serta lumen kecil pada dinding sel yang merupakan. CAF dengan perlakuan NaOH (gambar 4b) terlihat permukaan CAF yang lebih kasar dan bekas pengikisan senyawa *amorf* dan lapisan non polar dari *Raw* CAF terutama lapisan lilin dan wax yang lebih mudah larut dengan perlakuan NaOH. Selanjutnya, tampilan yang lebih cerah dan muncul etsa-etsa pada permukaan sebagai akibat tererosinya senyawa *amorf* pada serat CAF. Terlihat dengan jelas juga bagian dinding sel CAF mengalami pengikisan sehingga tampak lebih kasar dan lapisan berlapis. Bagian putih pada serat merupakan fragmen kecil atau *residue* yang menempel dan bagian yang terkena pencacayaan.



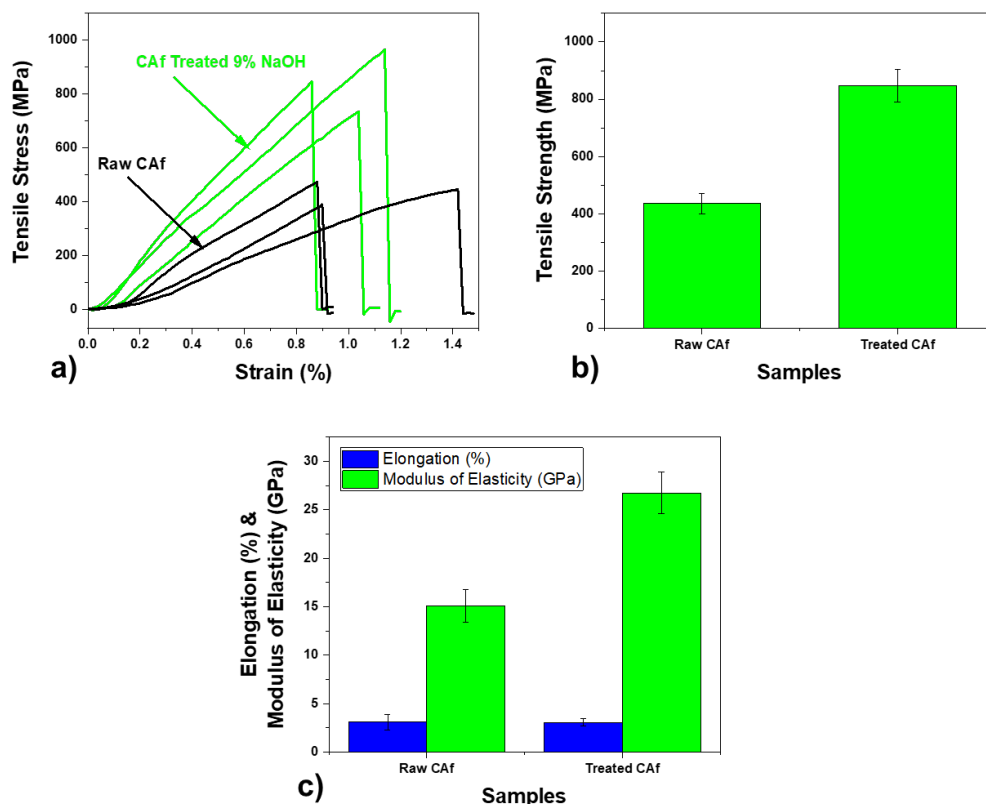
Gambar 4. Morphology dari a) *raw* CAF, b) CAF dengan perlakuan NaOH.

4. Single fiber tensile

Pola tegangan dan perpanjangan tarik serat CAF (*raw* CAF dan dengan perlakuan NaOH) ditampilkan pada **Gambar 5**. Kurva hubungan tegangan tarik dan pertambahan panjang ketika putus ditunjukkan pada gambar 5a. Dari gambar 5a diketahui bahwa rata-rata tegangan tarik CAF mengalami kenaikan setelah perlakuan NaOH. Sedangkan rata-rata perpanjangan patah CAF dari tiga sampel mengalami penurunan setelah perlakuan NaOH yaitu dari 3.09% ke 3.08%, fenomena ini lebih dominan disebabkan oleh sebaran ukuran CAF yang berbeda-beda sepanjang serat atau daun (Singh & Singh, 2019). Kekuatan tarik *raw* CAF dan CAF dengan perlakuan NaOH. Dari gambar 5b terlihat bahwa CAF sangat potensial dan menarik untuk dikembangkan sebagai penguat komposit

polimer. Kekuatan tarik *raw* CAf mencapai 436.15 ± 35.5 MPa, kekuatan tarik CAf kemudian meningkat menjadi 848.15 ± 57.46 MPa setelah diperlakukan NaOH. Dari hasil kekuatan tarik tersebut dapat disimpulkan bahwa perlakuan dengan NaOH. Perlakuan NaOH mampu meningkatkan aspek rasio, menurunkan diameter CAf dan topografi permukaan menjadi lebih kasar serta menyusun ulang pembentukan ikatan ikatan hidrogen baru dalam lignoselulosa CAf. Larutnya senyawa *amorf* seperti hemiselulosa, wax dan lignin tampak jelas terlihat pada hasil pengamatan morfologi SEM (**Gambar 4**) dan karakteristik lainnya. Perlakuan NaOH dengan konsentrasi yang terlalu tinggi bersifat oksidatif dan dapat merusak permukaan serat alam. Bagian *amorf* dari selulosa CAf terurai menjadi senyawa selulosa yang terkarboksilasi (Koshani et al., 2018). Kekuatan tarik CAf ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik dari serat *Rosa hybrida* bark (RHB) *fibers* (352.01 MPa) (Shibly et al., 2024), *Calamus manan fibers* (273.28 MPa) (Ding et al., 2022), *Morinda tinctoria bark fibers* (746.77 MPa) (Balachandran et al., 2023).

Modulus elastisitas *raw* CAf dan akibat perlakuan NaOH ditampilkan pada gambar 5c. Nilai modulus elastisitas CAf memiliki trend yang meningkat dengan adanya perlakuan NaOH CAf. *Raw* CAf memiliki modulus elastisitas sebesar 15.1 ± 1.7 GPa, kemudian masing-masing meningkat menjadi 26.74 ± 2.15 GPa setelah diperlakukan NaOH. Kenaikan modulus elastisitas CAf ini dikaitkan dengan larutnya endapan senyawa *amorf* berlebih dan pengotor pada permukaan serat.



Gambar 5. karakteristik tarik raw CAf dan CAf perlakuan NaOH.

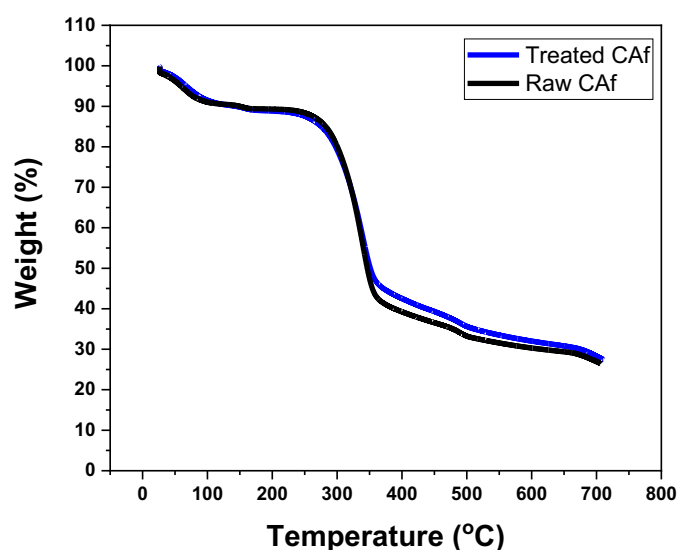
Tabel 1. Parameter karakteristik tarik CAf

Sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
Raw CAf	436.15 ± 35.5	3.09 ± 0.79	15.1 ± 1.7
Treated CAf	848.15 ± 57.46	3.08 ± 0.41	26.74 ± 2.15

5. Thermogravimetric analysis (TGA)

Ketahanan termal CAF tanpa dan dengan perlakuan NaOH ditampilkan pada **Gambar 6**. seperti pada serat alam lainnya, terdapat tiga tahap dekomposisi CAF pada rentang suhu berkepanjangan (Norizan et al., 2017). Pada tahap pertama terjadi pada temperatur sekitar 30 – 300 °C menunjukkan persentase *weight loss* awal yang dikaitkan dengan penguapan air dan kelembaban terikat oleh CAF (Ouaar et al., 2026). Degradasi dekomposisi berat CAF pada tahap kedua menjadi paling dominan dan terjadi pada temperatur 300 – 500 °C, komponen utama CAF seperti hemiselulosa, selulosa dan lignin mengalami dekomposisi (Norizan et al., 2017). Pada temperatur 300 – 350 °C terjadi pergeseran dekomposisi karena sebagian kandungan lignin mulai terurai yang berakhir pada 1000 °C serta penguraian senyawa selulosa bagian *amorf* dilanjutkan dengan selulosa bagian yang lebih kristalin (Sahari et al., 2013).

Pada temperatur 350 °C sudah terlihat dengan jelas perbedaan kurva TGA dari *raw* dan CAF perlakuan mengalami dekomposisi atau kehilangan berat paling tajam pada temperatur 350 °C, masing-masing sebesar 57.64% dan 54.58% untuk sampel *raw* CAF dan CAF dengan perlakuan NaOH berturut-turut. Hal ini disebabkan oleh, *raw* CAF masih banyak mengandung hemiselulosa yang lebih mudah terdekomposisi (220 – 315 °C) dibandingkan dengan sampel CAF perlakuan NaOH yang memiliki indeks kristalinitas (selulosa >320 °C). Sifat kristalin yang tinggi, selulosa relatif stabil secara termal. Selulosa merupakan bagian kristalin dan sedikit *amorf*. Bagian serat yang dominan *amorf* akan terurai lebih dulu daripada bagian kristalin, sehingga memiliki stabilitas termal lebih tinggi juga (Norizan et al., 2017). Selanjutnya, akhir dekomposisi tahap tiga pada 700 °C, dengan kehilangan komponen lignoselulosa dan lignin serta merupakan dekomposisi dan degradasi lanjut dari senyawa lignin yang terjadi lebih gradual serta pembentukan karbon atau *char* (Suteja, Hidayatullah, Sari, et al., 2025). Semakin tinggi residu CAF maka semakin tinggi ketahanan termalnya yang biasanya berkaitan dengan struktur yang lebih terikat dan terkristalisasi akibat kandungan lignin atau hasil modifikasi kimia yang meningkatkan stabilitas.



Gambar 6. kurva TGA *raw* CAF dan CAF perlakuan NaOH.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Objek dari penelitian ini adalah karakterisasi serat baru CAF dengan perlakuan NaOH. Perlakuan NaOH 5% (wt/v) meningkatkan dengan signifikan kekuatan tarik CAF 436.15 ± 35.5 MPa menjadi 848.15 ± 57.46 MPa menjadikannya sangat potensial sebagai penguat komposit polimer. Analisis

FTIR juga mengkonfirmasi keberadaan senyawa selulosa di dalam CAF. Kekasaran permukaan (2.35 μm) CAF diperoleh pada perlakuan NaOH 5% (wt/v) yang mengindikasikan struktur CAF lebih kristalin setelah perlakuan NaOH akibat larutnya senyawa *amorf* dan erosi lapisan wax. Perlakuan NaOH juga mampu meningkatkan ketahanan termal CAF sampai 700 °c dengan penguraian *char* 28.29%. temuan ini mengkonfirmasi bahwa serat CAF mampu mengganti penggunaan bahan terutama serat sintesis sebagai penguat komposit serta sumber selulosa baru untuk pengembangan material bionanokomposit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim peneliti UB atas pengujian sampel ini sehingga terselesaikannya manuskrip ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Ali, Z., Talpur, F. N., Afridi, H. I., Ahmed, F., Brohi, N. A., & Abbasi, H. (2025). Analytical approaches and advancement in the analysis of natural and synthetic fiber: A comprehensive review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 326, 125164. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125164>
- Balachandran, G. B., Narayanasamy, P., Alexander, A. B., David, P. W., Mariappan, R. K., Ramachandran, M. E., Indran, S., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2023). Multi-analytical investigation of the physical, chemical, morphological, tensile, and structural properties of Indian mulberry (*Morinda tinctoria*) bark fibers. *Heliyon*, 9(11), e21239. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21239>
- Daget, T. M., Kassie, B. B., & Tassew, D. F. (2025). Extraction and characterization of natural cellulosic stem fiber from Melekuya (*Plumbago zeylanicum* L.) plant for sustainable reinforcement in polymer composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 304, 141061. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141061>
- Dago, M. R., Zo-Bi, I. C., Badouard, V., Patacca, M., & Hérault, B. (2023). Concomitant effects of multiple disturbances (logging, fire, biological invasion) on native tree abundances into West Africa's semi-deciduous forests. *Biological Conservation*, 285, 110220. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110220>
- Ding, L., Han, X., Cao, L., Chen, Y., Ling, Z., Han, J., He, S., & Jiang, S. (2022). Characterization of natural fiber from manau rattan (*Calamus manan*) as a potential reinforcement for polymer-based composites. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 7(3), 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.11.002>
- Eleutério, T., Trota, M. J., Meirelles, M. G., & Vasconcelos, H. C. (2025). A Review of Natural Fibers: Classification, Composition, Extraction, Treatments, and Applications. *Fibers*, 13(9), 119. <https://doi.org/10.3390/fib13090119>
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in Engineering*, 19, 101271. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101271>
- Gapsari, F., Darmadi, D. B., Juliano, H., Hidayatullah, S., Suteja, Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2023). Modification of palm fiber with chitosan-AESO blend coating. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 125099. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125099>
- Gapsari, F., Djakfar, L., Handajani, R. P., Yusran, Y. A., Hidayatullah, S., Suteja, Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2022). The application of timoho fiber coating to improve the composite performance. *Results in Engineering*, 15, 100499. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100499>
- Gapsari, F., Purnowidodo, A., Hidayatullah, S., & Suteja, S. (2021). Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1305–1315. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.049>
- Herlina Sari, N., Suteja, S., Pruncu, C. I., Setyawan, I., Ilyas, R. A., & Lamberti, L. (2024). Physicomechanical, water absorption and thermal properties and morphology of *Paederia foetida* fiber– Al_2O_3 powder hybrid-reinforced epoxy composites. *Polymer International*, 73(7), 573–585. <https://doi.org/10.1002/pi.6632>
- Hindi, J., K, M., Heckadka, S. S., & B M, G. (2025). Retting and Chemical Treatment of Natural Fibers – A Review. *Journal of Natural Fibers*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2562479>
- Kassa, L. K., Jiru, M. G., Sinha, D. K., Gautam, S. S., Kumar, A., & Chauhan, A. K. (2025). Effect of NaOH Concentration, Fiber Length, Fiber Loading, and Filler Loading on the Mechanical Properties of Banana

- Fiber-Reinforced Polyester Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2025(1). <https://doi.org/10.1155/amse/7707280>
- Klippathum, C., Kunawisarut, A., Chuaicham, C., Jirawattanasomkul, T., Likitlersuang, S., Dai, J.-G., & Jongvivatsakul, P. (2026). Tensile performance and carbon intensity of natural fiber-reinforced polymer composites using bio-based epoxy resins. *Journal of Materials Research and Technology*, 42, 6722–6741. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2026.04.242>
- Koshani, R., van de Ven, T. G. M., & Madadlou, A. (2018). Characterization of Carboxylated Cellulose Nanocrytals Isolated through Catalyst-Assisted H₂O₂ Oxidation in a One-Step Procedure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(29), 7692–7700. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00080>
- Mohammed, M., Rahman, R., Mohammed, A. M., Adam, T., Betar, B. O., Osman, A. F., & Dahham, O. S. (2022). Surface treatment to improve water repellence and compatibility of natural fiber with polymer matrix: Recent advancement. *Polymer Testing*, 115, 107707. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107707>
- Norizan, M. N., Abdan, K., Salit, M. S., & Mohamed, R. (2017). Physical, Mechanical and Thermal Properties of Sugar Palm Yarn Fibre Loading on Reinforced Unsaturated Polyester Composite. *Journal of Physical Science*, 28(3), 115–136. <https://doi.org/10.21315/jps2017.28.3.8>
- Ouaar, A., Djeboun, Y., Hecini, M., & Boussehel, H. (2026). Evaluation of Sequential Chemical Treatments and Grafting on Date Palm Mesh Fiber: Surface Chemistry, Morphology, and Interfacial Performance. *Journal of Natural Fibers*, 23(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2026.2677911>
- Prabhu, L., Krishnaraj, V., Sathish, S., Gokulkumar, S., Karthi, N., Rajeshkumar, L., Balaji, D., Vigneshkumar, N., & Elango, K. S. (2021). A review on natural fiber reinforced hybrid composites: chemical treatments, manufacturing methods and potential applications. *Materials Today: Proceedings*, 45, 8080–8085. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.280>
- Purushothaman, R., Balaji, A., & Swaminathan, J. (2024). Influence of NaOH treatment on physical, chemical, thermal, and morphological behavior of aloe vera, banana, and corn husk fiber. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(14), 16743–16754. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05740-w>
- R, S., R, S., & P, M. (2023). Characterization of New Natural Cellulosic Fiber from the Bark of *Artocarpus Altilis* Plant. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2150923>
- Raja, T., Arora, A., Patel, C., Pattanaik, A., Shukla, K. K., Devarajan, Y., & Sahoo, S. Ku. (2025). Characterization of the natural fiber extracted from *Lawsonia inermis* plant stem – An approach of sustainable development. *Results in Engineering*, 26, 104915. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104915>
- Rajeshkumar, G., Devnani, G. L., Maran, J. P., Sanjay, M. R., Siengchin, S., Al-Dhabi, N. A., & Ponmurugan, K. (2021). Characterization of novel natural cellulosic fibers from purple bauhinia for potential reinforcement in polymer composites. *Cellulose*, 28(9), 5373–5385. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03919-2>
- Sahari, J., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., & Maleque, M. A. (2013). Mechanical and thermal properties of environmentally friendly composites derived from sugar palm tree. *Materials & Design*, 49, 285–289. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.01.048>
- Samanth, M., & Subrahmanya Bhat, K. (2023). Conventional and unconventional chemical treatment methods of natural fibres for sustainable biocomposites. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, 3, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.scca.2023.100034>
- Saravanakumar, S. S., Kumaravel, A., Nagarajan, T., Sudhakar, P., & Baskaran, R. (2013). Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Prosopis juliflora* bark. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1928–1933. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.064>
- Shibly, M. A. H., Islam, Md. I., Rahat, Md. N. H., Billah, M. M., Rahman, M. M., Bashar, M. S., Abdul, B., & Alorfi, H. S. (2024). Extraction and characterization of a novel cellulosic fiber derived from the bark of *Rosa hybrida* plant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257, 128446. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128446>
- Singh, H., & Singh, T. (2019). Effect of fillers of various sizes on mechanical characterization of natural fiber polymer hybrid composites: A review. *Materials Today: Proceedings*, 18, 5345–5350. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.560>
- Suparjon, S., Gapsari, F., & Purnomo, B. (2023). Physical, mechanical, and morphological characteristics of kapok (*Ceiba Pentandra*) tree bark and epoxy composite with coating (Aeso) treatment. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(1), 225–234.
- Suteja, Hidayatullah, S., Gapsari, F., Purnowidodo, A., Susanti, L., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2025). Enhancing the performance of natural fiber composites: Integrating Walikukun fiber and aluminum filler

- in epoxy matrices. *Reactive and Functional Polymers*, 214, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2025.106302>
- Suteja, S., Hidayatullah, S., Sari, N. H., & Pradityatama, M. (2025). Characteristics of Holocellulose Isolated from Waru Bark Fibers as Biopackaging Materials. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 19(2), 132–143.
- Umachitra, G., Sampath, P. S., Karthik, A., Senthilkumar, M. S., Ramachandran, K., Rajeshkumar, L., & Sathishkumar, M. (2026). Effect of halloysite nanotube addition on mechanical and thermal performance of banana/cotton hybrid natural fiber-reinforced polymer nanocomposites. *Materials Advances*, 7(7), 3681–3689. <https://doi.org/10.1039/D5MA01471A>
- Zulkarnain, A., Wibowo, H., & Wirawan, W. A. (2025). Enhancement of the chemical, physical, mechanical and thermal properties of NaOH-treated natural cellulosic fibers from Calathea lutea. *Cleaner Waste Systems*, 12, 100427. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100427>