

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Material Balistik Berbasis Serat Alam untuk Aplikasi Armor di Iklim Tropis: Sebuah Tinjauan Pustaka Naratif

Natural Fiber-Based Ballistic Materials for Armor Applications in Tropical Climates: A Narrative Literature Review

Ahmad Zain Arsi*, Sovian Aritonang

*Program Studi Matematika, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

sovian.aritonang@idu.ac.id

Abstract

Modern armor relies on ceramics, aramid, and UHMWPE, but these materials are expensive, difficult to recycle, and partly fragile. Natural fibers are proposed as a cheaper and more environmentally friendly alternative. This review aims to summarize the ballistic performance of conventional and natural fiber-based steel materials, as well as assess their readiness for tropical climates. The method used is a narrative literature review: a web search of indexed articles (DOAJ, PubMed Central, MDPI, Frontiers, Springer, Taylor & Francis) published in English and Indonesian from November 2018–2026. Of the 30 search results, 15 sources met the inclusion criteria and have been reviewed. The results showed that the hybrid composite of natural synthetic fibers performed better than pure natural fibers, and natural fibers were considered promising as a partial substitute for aramid. On the other hand, the hydrophilic properties of natural fibers reduce the strength of the fiber matrix interface and its lifespan. In the reviewed sources, no studies tested the ballistic performance of natural fiber composites after wet-hot aging, so their readiness for tropical climates has not been proven. Further research needs to combine ballistic testing with hygrothermal aging tests.

Keywords: *Ballistic Material, Armor, Natural Fiber Composite, UHMWPE, Tropical Climate*

Abstrak

Armor modern bergantung pada keramik, aramid, dan UHMWPE, tetapi material ini mahal, sulit didaur ulang, dan sebagian getas. Serat alam diusulkan sebagai alternatif yang lebih murah dan ramah lingkungan. Tinjauan ini bertujuan merangkum performa balistik material armor konvensional dan berbasis serat alam, serta menilai kesiapannya untuk iklim tropis. Metode yang dipakai adalah tinjauan pustaka naratif: pencarian web atas artikel terindeks (DOAJ, PubMed Central, MDPI, Frontiers, Springer, Taylor & Francis) terbitan 2018–2026 berbahasa Inggris dan Indonesia pada November 2026. Dari 30 hasil pencarian, 15 sumber memenuhi kriteria inklusi dan ditelaah. Hasilnya menunjukkan bahwa komposit hibrida serat alam–sintetis lebih baik daripada serat alam murni, dan serat alam dipandang menjanjikan sebagai pengganti sebagian aramid. Di sisi lain, sifat hidrofilik serat alam menurunkan kekuatan antarmuka serat–matriks dan umur layan. Dalam sumber yang ditelaah, belum ada studi yang menguji performa balistik komposit serat alam setelah penuaan lembap-panas, sehingga kesiapannya untuk iklim tropis belum terbukti. Penelitian lanjutan perlu menggabungkan uji balistik dengan uji penuaan higrotermal.

Kata Kunci: Material Balistik, Armor, Komposit Serat Alam, UHMWPE, Iklim Tropis

Penulis Korespondensi : Ahmad Zain Arsi

Author@ This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

I. PENDAHULUAN

Perlindungan balistik bagi personel dan kendaraan menuntut material yang menyerap energi kinetik proyektil tetapi tetap ringan. Armor modern memadukan keramik, serat sintetis seperti aramid dan UHMWPE, serta komposit polimer hibrida (Akella & Naik, 2015; Abtew et al., 2019; Czech et al., 2021). Kain aramid (Kevlar) banyak dipakai pada helm dan rompi karena mampu menahan proyektil berenergi tinggi (Naveen et al., 2020). Namun, limbah Kevlar mencemari lingkungan, dan material seperti Dyneema berbiaya tinggi; Naveen dkk. melaporkan bahwa serat alam dapat menekan biaya hingga 70% (Naveen et al., 2020). Keramik seperti alumina, SiC, dan B_4C sangat keras tetapi getas, sedangkan pelat polimer lebih ringan dan lebih tahan tembakan berulang (Popescu et al., 2025).

Karena itu, serat alam seperti kenaf, rami, jute, curaua, dan sabut kelapa dipelajari sebagai pengganti atau pelengkap serat sintetis (Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020; Odesanya et al., 2021). Hambatan utamanya adalah sifat hidrofilik: serat tumbuhan mudah menyerap air, sehingga antarmuka serat–matriks melemah dan transfer beban menurun (Pavlovic et al., 2025; Ramesh et al., 2022). Hambatan ini relevan bagi Indonesia, yang beriklim tropis dengan kelembapan dan suhu tinggi sepanjang tahun.

Review tentang serat alam untuk aplikasi balistik sudah ada (Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020; Odesanya et al., 2021), begitu pula review tentang pengaruh kelembapan pada komposit serat alam (Pavlovic et al., 2025; Ramesh et al., 2022). Dalam sumber yang ditelaah, kedua kelompok ini dibahas terpisah. Belum ditemukan sintesis yang menghubungkan performa balistik dengan ketahanan terhadap kondisi lembap-panas, padahal kondisi inilah yang menentukan apakah material layak dipakai di wilayah tropis. Tinjauan ini mengisi celah tersebut dan merumuskan arah penelitian lanjutan.

.

II. METODE

Tinjauan ini adalah tinjauan pustaka naratif, bukan systematic review PRISMA penuh. Pencarian dilakukan pada November 2026 melalui mesin pencarian web terhadap artikel yang terindeks di DOAJ, PubMed Central, MDPI, Frontiers, SpringerLink, Taylor & Francis, dan repositori institusi. Rentang terbit adalah 2018–2026, berbahasa Inggris dan Indonesia.

Tabel 1. Kata Kunci

Konsep	Kata kunci (Inggris)	Kata kunci (Indonesia)
Material	ballistic armor, UHMWPE, aramid, ceramic, natural fiber composite, kenaf	armor balistik, komposit, serat alam
Kinerja	ballistic limit, back-face signature, energy absorption	batas balistik, penyerapan energi
Lingkungan	moisture absorption, hygrothermal aging	penyerapan air, penuaan higrotermal

Tiga rangkaian pencarian yang dijalankan: (1) "review ballistic armor materials ceramic UHMWPE composite"; (2) "natural fiber reinforced composite ballistic armor review kenaf"; (3) "moisture absorption degradation natural fiber composites ballistic hygrothermal aging".

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi	Kriteria eksklusi
Terbit 2018–2026	Terbit sebelum 2018
Jurnal, bab buku, preprint, atau tesis dengan metode dan hasil yang dapat dibaca	Situs komersial atau blog
Berbahasa Inggris atau Indonesia	Bahasa lain
Membahas material armor, serat alam untuk balistik, atau ketahanan lingkungan komposit serat alam	Membahas material lain (misalnya serat karbon untuk struktur sipil) tanpa kaitan ke armor atau serat alam
Abstrak atau teks lengkap dapat diakses	Hanya daftar isi atau front matter buku

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Tabel 3. Alur Seleksi

Tahap	Jumlah
Hasil pencarian awal (3 rangkaian × 10 hasil)	30
Dikeluarkan: duplikat (6) dan situs non-ilmiah (2)	22
Dikeluarkan setelah skrining judul dan abstrak: tidak relevan atau tanpa konten memadai (5)	17
Dikeluarkan pada seleksi akhir oleh penulis (2)	15
Sumber akhir yang ditelaah	15

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lima belas sumber ditelaah: tujuh sumber umum tentang armor (No. 1–7), empat tentang serat alam dan sistem hibrida (No. 8–11), serta empat tentang durabilitas lingkungan (No. 12–15).

Tabel 4. Artikel Sumber Telaah

No	Referensi (Tahun)	Fokus	Metode	Hasil utama
1	Akella & Naik	Armor komposit	Review	Membandingkan material penyusun, performa keramik, konfigurasi armor, dan pengaruh proyektil
2	Crouch (2019)	Material body armour	Review	Menyoroti kelemahan beberapa grade keramik dan manfaat cladding untuk performa multi-hit
3	Abtew dkk. (2019)	Mekanisme impak tekstil dan komposit	Review	Menguraikan respons impak aramid dan UHMWPE serta perambatan gelombang pada benang dan kain
4	Czech dkk. (2021)	Komposit polimer hibrida	Review	Modifikasi komposit memengaruhi penyerapan energi impak dan sifat mekanik
5	Chamola dkk. (2026, preprint)	Soft body armor dan metode uji	Review	Merangkum standar uji balistik dan tusuk, V50, back-face signature, gesekan benang
6	Mardiyati	Komposit polimer untuk pertahanan	Review	Serat gelas, aramid, UHMWPE untuk pakaian, helm, dan kendaraan
7	Popescu dkk. (2025)	Panel balistik Endumax XF33 (UHMWPE)	Studi uji balistik	Latar belakangnya menyebut keramik keras tetapi getas, sedangkan pelat polimer ringan dan tahan multi-hit
8	Nayak dkk. (2022)	Serat alam untuk balistik	Review	Klasifikasi berdasar ballistic limit dan BFS; komposit hibrida lebih baik daripada serat alam murni
9	Naveen dkk. (2020)	Serat alam pada armor lunak dan keras	Mini review	Serat alam sebagai alternatif Kevlar; analisis energi, limit velocity, indentasi
10	Odesanya dkk. (2021)	Komposit serat alam untuk balistik	Review	Mencakup pemilihan serat/matriks, mode kegagalan, simulasi, dan analisis biaya
11	Elzahri & Aritonang	Keramik–polimer–serat alam multilapis	Review 20 studi	Strike face keramik dengan backing serat alam memberi keseimbangan bobot dan penyerapan energi
12	Pavlovic dkk. (2025)	Efek kelembapan pada komposit	Review	Kelembapan melemahkan antarmuka dan transfer beban; pemahaman komprehensif

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

		serat alam		masih kurang
13	Xia dkk.	Durabilitas lembaran flax	Eksperimen	Penuaan 90% RH dan 40 °C hingga 30 hari; studi arsitektur komposit masih jarang
14	Ramesh dkk. (2022)	Penuaan higrotermal biokomposit	Bab buku	Kinetika penyerapan air dan mekanisme degradasi
15	Bahrami dkk.	Penyerapan air komposit hibrida	Studi komposit	Hibrida menyerap air lebih sedikit daripada flax murni

Keramik seperti alumina, SiC, dan B_4C unggul dalam kekerasan tetapi getas (Popescu et al., 2025). Kelemahan beberapa grade keramik dapat dikurangi dengan cladding, yang juga memperbaiki performa multi-hit pelat keras (Crouch, 2019). Karena itu sistem multilapis dipakai: Naveen dkk. menyebut kombinasi keramik, komposit, dan logam sebagai solusi efektif (Naveen et al., 2020). Review 20 studi melaporkan bahwa strike face alumina atau B_4C dengan matriks epoksi atau UHMWPE dan backing serat alam (kenaf, curaua, jute) memberi keseimbangan antara bobot ringan dan penyerapan energi (Elzahri & Aritonang, n.d.). Keberhasilan sistem ini ditentukan oleh desain lapisan, ketebalan, dan kompatibilitas antarmaterial (Elzahri & Aritonang, n.d.).

Aramid dan UHMWPE adalah serat utama pada rompi dan helm (Abtew et al., 2019; Mardiyati, 2018; Naveen et al., 2020). Respons impaknya dijelaskan melalui perambatan gelombang pada benang dan kain (Abtew et al., 2019). Modifikasi komposit hibrida memengaruhi kapasitas serap energi (Czech et al., 2021). Dua catatan penting: biaya Dyneema tinggi dan limbah Kevlar mencemari lingkungan (Naveen et al., 2020).

Nayak dkk. mengklasifikasikan komposit serat alam murni dan hibrida (alam + sintetis) berdasarkan ballistic limit dan back-face signature, lalu membandingkannya dengan Kevlar. Hasilnya, hibrida lebih baik daripada serat alam murni (Nayak et al., 2022). Serat yang dikaji mencakup flax, basalt, curaua, kenaf, aramid, jute, kelapa, dan hemp (Nayak et al., 2022). Naveen dkk. menambahkan malva, rami, bagasse, dan bambu serta menyimpulkan bahwa serat alam berpotensi sebagai penguat pada armor lunak maupun multilapis (Naveen et al., 2020). Odesanya dkk. menambah dimensi biaya dan simulasi: serat alam dinilai berpotensi menjadi substitusi bagi serat sintetis maju (Odesanya et al., 2021). Panel keras serat alam umumnya dibuat dengan hand lay-up (Naveen et al., 2020), yang membuat hasil antar peneliti sensitif terhadap kualitas fabrikasi (interpretasi penulis).

Kelembapan adalah kelemahan utama serat alam. Serat tumbuhan menyerap air karena hidrofilik, sehingga antarmuka serat–matriks melemah dan kerusakan seperti pembengkakan dan retak mikro berkembang lebih cepat (Bahrami et al., 2024; Pavlovic et al., 2025). Serapan air berbagai komposit serat alam dirangkum pada tabel berikut (Bahrami et al., 2024).

Tabel 5. Durabilitas terhadap Kelembapan

Komposit	Serapan air (%)
Sisal/poliester	7–22
Flax/bio-epoksi	6–12
Jute/poliester	8–20
Hemp/poliester	10–16
Hibrida flax–karbon	7,2

Hibrida flax–karbon menyerap air lebih sedikit daripada flax murni dan lebih stabil secara termal (Bahrami et al., 2024). Pada flax, tahap awal penuaan dapat menaikkan kekuatan sementara akibat post-curing matriks sebelum akhirnya menurun (Xia et al., 2026). Pavlovic dkk. juga menyimpulkan bahwa nilai sifat mekanik komposit serat alam mendekati komposit serat gelas (Pavlovic et al., 2025). Artinya, serat alam belum menyamai aramid atau UHMWPE sebagai penguat utama (interpretasi penulis).

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Studi balistik memakai ballistic limit (V50), back-face signature (BFS), dan penyerapan energi (Chamola et al., 2026; Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020). Penyerapan energi dihitung dari selisih energi kinetik proyektil sebelum dan sesudah penetrasi (Naveen et al., 2020):

E_{abs} = \frac{1}{2} m \left(v_s^{2} - v_r^{2} \right)

dengan m massa proyektil, v_s kecepatan impak, dan v_r kecepatan residual. Pengujian merujuk standar NIJ (Naveen et al., 2020), dan review terbaru juga mencakup uji tusuk serta gesekan benang (Chamola et al., 2026). Perbedaan parameter uji antar studi menyulitkan perbandingan langsung (interpretasi penulis).

Kesamaan: Review serat alam sepakat bahwa serat alam menjanjikan sebagai alternatif atau pelengkap serat sintetis (Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020; Odesanya et al., 2021; Elzahri & Aritonang, n.d.). Literatur durabilitas sepakat bahwa kelembapan adalah masalah utama (Pavlovic et al., 2025; Ramesh et al., 2022; Bahrami et al., 2024). Sumber armor umum sepakat bahwa sistem multilapis lebih efektif daripada satu material (Crouch, 2019; Naveen et al., 2020; Elzahri & Aritonang, n.d.).

Perbedaan: Setiap review memakai kerangka berbeda: klasifikasi berdasar ballistic limit dan BFS (Nayak et al., 2022), analisis energi dan indentasi (Naveen et al., 2020), serta biaya dan simulasi (Odesanya et al., 2021). Perbedaan ini membuat angka performa antar studi sulit dibandingkan langsung.

Pertentangan: Nayak dkk. menyatakan serat alam perlu dipertimbangkan secara aktif untuk menggantikan serat sintetis (Nayak et al., 2022), sedangkan Naveen dkk. lebih berhati-hati dan menyebutnya potensi penguat alternatif (Naveen et al., 2020). Di sisi lain, nilai mekanik komposit serat alam setara komposit serat gelas dan kelembapan melemahkan antarmuka serat–matriks (Pavlovic et al., 2025). Menurut penulis, bukti saat ini lebih mendukung peran serat alam sebagai pelengkap (misalnya backing atau komponen hibrida) daripada pengganti penuh aramid atau UHMWPE.

.

Tabel 6. Analisis Kritis dan Research Gap

Gap	Bukti dari literatur	Peluang penelitian
Performa balistik setelah penuaan lembap-panas	Review balistik (Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020; Odesanya et al., 2021) membahas ballistic limit dan BFS pada kondisi standar, sedangkan studi penuaan (Pavlovic et al., 2025; Xia et al., 2026; Ramesh et al., 2022; Bahrami et al., 2024) mengukur sifat mekanik dan fatigue. Dalam sumber yang ditelaah tidak ditemukan uji balistik pasca-penuaan.	Uji V50 dan BFS pada panel serat alam sebelum dan sesudah paparan lembap-panas dan UV
Durasi dan kondisi penuaan terbatas	Penuaan hanya 30 hari pada 40 °C dan 90% RH (Xia et al., 2026); masa pakai armor jauh lebih panjang (interpretasi penulis).	Uji penuaan jangka panjang dan paparan lapangan tropis dengan pemodelan umur layan
Pengaruh proses manufaktur	Panel serat alam umumnya dibuat dengan hand lay-up [9]; dalam sumber yang ditelaah tidak ditemukan perbandingan pengaruh metode fabrikasi terhadap performa balistik	Perbandingan hand lay-up, compression molding, dan autoclave terhadap performa balistik
Serat lokal Indonesia	Serat yang dikaji di review balistik mencakup flax, kenaf, jute, kelapa, hemp, curaua [8][9]; tidak ditemukan data sistematis untuk serat lokal	Karakterisasi dan uji balistik serat lokal (misalnya kenaf, nanas, kelapa) dalam konfigurasi hibrida
Perbandingan metrik uji	Perbedaan parameter uji dan standar menyulitkan perbandingan (Chamola et al., 2026; Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020).	Protokol uji seragam berbasis NIJ untuk panel serat alam
Analisis biaya dan rantai pasok lokal	Analisis biaya ada di Odesanya et al. (2021), tetapi tidak mencakup rantai pasok dalam negeri.	Kajian tekno-ekonomi produksi armor serat alam di Indonesia

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

IV. KESIMPULAN

RQ1 (material dan performa): Armor memakai keramik (alumina, SiC, B_4C), serat sintetis (aramid, UHMWPE, serat gelas), dan komposit hibrida. Keramik keras tetapi getas, sedangkan polimer ringan dan tahan multi-hit; sistem multilapis paling sering direkomendasikan (Crouch, 2019; Popescu et al., 2025; Naveen et al., 2020; Elzahri & Aritonang, n.d.). RQ2 (potensi serat alam): Serat alam menjanjikan dari sisi biaya dan lingkungan, dan hibrida alam–sintetis lebih baik daripada serat alam murni (Nayak et al., 2022; Naveen et al., 2020; Odesanya et al., 2021). Bukti saat ini lebih mendukung peran pelengkap daripada pengganti penuh. RQ3 (kelembapan dan iklim tropis): Sifat hidrofilik menurunkan kekuatan antarmuka dan sifat mekanik (Pavlovic et al., 2025; Bahrami et al., 2024). Kesiapan untuk iklim tropis belum terbukti karena belum ada uji balistik pasca-penuaan dalam sumber yang ditelaah. RQ4 (gap): Gap utama adalah uji balistik pasca-penuaan, penuaan jangka panjang, pengaruh proses manufaktur, serat lokal Indonesia, standardisasi uji, dan analisis rantai pasok. Tinjauan ini bersifat naratif dan tidak memakai database berlangganan. Cakupan hanya 15 sumber, sebagian hanya dapat dibaca abstrak atau cuplikannya, satu sumber masih berupa preprint [5], dan tidak ada meta-analisis. Heterogenitas parameter uji antar studi membatasi perbandingan kuantitatif. Beberapa kesimpulan bersifat interpretasi penulis dan ditandai pada teks. Menguji performa balistik (V50, BFS) panel serat alam dan hibrida sebelum dan sesudah penuaan lembap-panas dan UV. Mengkarakterisasi serat lokal Indonesia dalam konfigurasi multilapis keramik–polimer–serat alam. Membandingkan metode fabrikasi dan perlakuan permukaan serat untuk menekan serapan air tanpa menurunkan performa balistik.

DAFTAR PUSTAKA

Abtew, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., Loghin, C., & Cristian, I. (2019). Ballistic impact mechanisms: A review on textiles and fibre-reinforced composites impact responses. *Composite Structures, 223*, Article 110966. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.110966

Akella, K., & Naik, N. K. (2015). Composite armour: A review. *Journal of the Indian Institute of Science, 95*(3), 297–312. https://journal.iisc.ac.in/index.php/iisc/article/download/4574/4871

Bahrami, M., Abenojar, J., Aparicio, G. M., & Martínez, M. A. (2024). Thermal stability, durability, and service life estimation of woven flax-carbon hybrid polyamide biocomposites. *Materials, 17*(9), Article 2020. https://doi.org/10.3390/ma17092020

Chamola, R., Khan, T., Sebaey, T. A., Das, S., & Goyat, M. S. (2026). A state-of-the-art review on material innovations and testing methodologies for soft body armor [Preprint]. *Preprints.org*. https://doi.org/10.20944/preprints202602.0448.v1

Crouch, I. G. (2019). Body armour—New materials, new systems. *Defence Technology, 15*(3), 241–253. https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.02.002

Czech, K., Oliwa, R., Krajewski, D., Bulanda, K., Oleksy, M., Budzik, G., & Mazurkow, A. (2021). Hybrid polymer composites used in the arms industry: A review. *Materials, 14*(11), Article 3047. https://doi.org/10.3390/ma14113047

Elzahri, M. K. N., & Aritonang, S. (2026). Optimasi material komposit keramik–polimer–serat alam untuk peningkatan efisiensi energi serap dan ketahanan balistik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 9*(2), 272–275. https://doi.org/10.30596/rmme.v9i2.27063

Mardiyati. (2018). Komposit polimer sebagai material tahan balistik. *Jurnal Inovasi Pertahanan dan Keamanan, 1*(1), 20–28. https://doi.org/10.5614/jipk.2018.1.1.3

Naveen, J., Jayakrishna, K., Hameed Sultan, M. T., & Muhammad Amir, S. M. (2020). Ballistic performance of natural fiber based soft and hard body armour: A mini review. *Frontiers in Materials, 7*, Article 608139. https://doi.org/10.3389/fmats.2020.608139

Nayak, S. Y., Sultan, M. T. H., Shenoy, S. B., Kini, C. R., Samant, R., Md Shah, A. U., & Amuthakkannan, P. (2022). Potential of natural fibers in composites for ballistic applications: A review. *Journal of Natural Fibers, 19*(5), 1648–1658. https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1787919

Odesanya, K. O., Ahmad, R., Jawaid, M., Bingol, S., Adebayo, G. O., & Wong, Y. H. (2021). Natural fibre-reinforced composite for ballistic applications: A review. *Journal of Polymers and the Environment, 29*(12), 3795–3812. https://doi.org/10.1007/s10924-021-02169-4

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Pavlovic, A., Valzania, L., & Minak, G. (2025). Effects of moisture absorption on the mechanical and fatigue properties of natural fiber composites: A review. *Polymers, 17*(14), Article 1996. https://doi.org/10.3390/polym17141996

Popescu, C., Vasiliu, A. V., Călinescu, D., Cristea, G. C., Sandu, S. M., & Deleanu, L. (2025). Aspects of ballistic panels made of Endumax XF33, tested against different projectiles. *International Conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION, 31*(3). https://doi.org/10.2478/kbo-2025-0089

Ramesh, M., Tamil Selvan, M., & Niranjana, K. (2022). Hygrothermal aging, kinetics of moisture absorption, degradation mechanism and their influence on performance of the natural fibre reinforced composites. In C. Muthukumar, S. Krishnasamy, S. M. K. Thiagamani, & S. Siengchin (Eds.), *Aging effects on natural fiber-reinforced polymer composites: Durability and life prediction* (pp. 257–277). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8360-2_15

Xia, Y., Li, P., Shen, L., Niu, J., & Zhao, H. (2026). Durability of flax fiber reinforced polymer sheets under hygrothermal conditions: Tensile and shear performance. *Materials, 19*(18), Article 3822. https://doi.org/10.3390/ma19183822