

## Sosialisasi Prospek Industri Serat Alami NFRC bagi Masyarakat Negeri Mamala

Debby Raynold Lekatompessy\*, Reico Harold Siahainenia,  
Sonja Treije Anthonia Lekatompessy, Monalisa Manuputty  
Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

\*Corresponding Author: [de.lekatompessy@gmail.com](mailto:de.lekatompessy@gmail.com)  
Dikirim: 25-03-2026; Direvisi: 22-06-2026; Diterima: 25-06-2026

**Abstrak:** Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya keberlanjutan industri ramah lingkungan dalam industri pembuatan perahu lokal, sekaligus menciptakan peluang ekonomi baru yang berbasis pada bahan baku yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini merupakan lanjutan dari kegiatan ditahun sebelumnya yang bertujuan untuk memperkenalkan dan mensosialisasikan penggunaan serat alam alami, seperti serat kenaf, serat pelepah pisang sebagai pengganti *Fiber Reinforced Plastic (FRP)* dalam pembuatan kapal di Negeri Mamala. Material dasar yang tersedia sebagai limbah alam di desa Mamala memiliki potensi untuk diolah dan dijadikan bahan dasar pembuatan kapal. Program ini mendukung konsep *Eco Green* dengan menggantikan material berbasis plastik sintetis yang tidak ramah lingkungan, dengan material terbarukan yang dapat terurai secara alami. Sosialisasi ini melibatkan masyarakat negeri, dalam hal ini Komunitas Pausela Mamala, selain memberikan pemahaman tentang manfaatnya dalam mengurangi dampak lingkungan juga diperkenalkan prospek dari pemanfaatan limbah pelepah pisang (serat Abaka) sebagai serat alami untuk material komposit yang bernilai ekonomis.

**Kata Kunci:** industri; serat alami; serat sintetis; *eco green*; serat abaka.

**Abstract:** This Community Service (PkM) activity is a continuation of the previous year's activity, which aims to introduce and socialize the use of natural fibers, such as kenaf fiber and banana stem fiber, as a substitute for Fiber Reinforced Plastic (FRP) in shipbuilding in Mamala Village. The basic materials available as natural waste in Mamala Village have the potential to be processed and used as basic materials for shipbuilding. This program supports the Eco Green concept by replacing synthetic plastic-based materials that are not environmentally friendly with renewable materials that can decompose naturally. This socialization involves the village community, in this case the Pausela Mamala Community. In addition to providing an understanding of its benefits in reducing environmental impacts, it also introduces the prospects of utilizing banana stem waste (Abacca fiber) as a natural fiber for economically valuable composite materials. This activity aims to increase public awareness of the importance of sustainable environmentally friendly industries in the local boatbuilding industry, while creating new economic opportunities based on more environmentally friendly and sustainable raw materials.

**Keywords:** industry; natural fiber; synthetic fiber; eco green; abaca fiber.

### PENDAHULUAN

*Fiber Reinforced Plastic (FRP)* adalah komposit yang terbuat dari plastik yang diperkuat dengan serat, seperti serat kaca atau serat karbon, untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanannya. Material ini sering digunakan dalam industri, perkapalan, karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan lama. Namun, meskipun

*FRP* memiliki banyak kelebihan, ada beberapa isu lingkungan dan ekonomi yang mendorong pencarian alternatif material yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu kekurangan utama dari *FRP* adalah bahwa material ini sulit terurai secara alami. Ketika produk berbahan *FRP* dibuang, mereka dapat tetap berada di lingkungan selama ratusan tahun, menciptakan masalah limbah yang besar (Bledzki et al., 2020).

Pembuatan *FRP* melibatkan penggunaan bahan kimia dan resin sintetis yang dapat menghasilkan polutan berbahaya, seperti *styrene* dan *formaldehida*. Selain itu, proses produksi *FRP* menghasilkan limbah yang sulit dikelola dan dapat mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat (Colombo et al., 2022). Alternatif material yang lebih ramah lingkungan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi polusi lingkungan terutama *global warming* (Zarafshani et al., 2023). Serat *FRP* diganti dengan *NFRC* serat natural yang berasal dari serat batang atau tumbuh-tumbuhan seperti serat kenaf, rami, nanas dan abaka.

Kegiatan ini dilakukan melalui pemberian materi kepada masyarakat Negeri Mamala Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah terkhusus Komunitas Pausela Mamala. Upaya ini bertujuan untuk memperkenalkan material pengganti Serat sintetis yaitu *FRP* dengan *NFRC* yang berasal dari serat alami dari pelepah pisang (Abaka) untuk membuat perahu atau kapal-kapal kecil yang ramah lingkungan dengan nilai ekonomi yang tinggi.

Salah satu kekurangan utama dari *FRP* adalah bahwa material ini sulit terurai secara alami. Ketika produk berbahan *FRP* dibuang, mereka dapat tetap berada di lingkungan selama ratusan tahun, menciptakan masalah limbah yang besar. Pembuatan *FRP* melibatkan penggunaan bahan kimia dan resin sintetis yang dapat menghasilkan polutan berbahaya. Selain itu, proses produksi *FRP* menghasilkan limbah yang sulit dikelola dan dapat mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat.

Tujuan dari inisiatif ini adalah untuk menumbuhkan hubungan sosial dalam masyarakat dengan memanfaatkan bahan serat alami, sehingga memungkinkan masyarakat untuk mendukung pemanfaatan bahan berkelanjutan sambil menjelaskan potensi manfaat ekonomi dari industri serat alami bagi penduduk negeri Mamala.

Kegiatan Pengabdian Masyarakat dengan temuan penelitian ilmiah. Indikator utama dari tujuan ini adalah pelaksanaan inisiatif pengabdian masyarakat yang diinformasikan oleh penelitian ilmiah atau studi empiris. Akibatnya, hasil yang diantisipasi adalah bahwa tantangan sosial dapat diatasi melalui kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

Dari latar belakang di atas, maka masalah yang dihadapi masyarakat Negeri Mamala saat ini adalah masyarakat masih sangat tergantung dengan pemakaian material *FRP* untuk pembuatan kapal kecil penangkap ikan. Selain itu, proses reparasi lambung kapal tersebut juga sangat bergantung pada material *FRP*. Di lain sisi, terdapat limbah pelepah pisang di desa Mamala yang dapat dimanfaatkan setelah diolah untuk menjadi bahan dasar industri pembuatan *NFRC*. Alih material ini menunjang mengurangi polusi alam dan harga yang lebih murah dengan manfaat yang sama.

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat adalah terbentuknya pemahaman masyarakat untuk bisa memilih alternatif serat alami yang ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan material *FRP* yang biasa dipakai dan mengetahui



prospek serat alami yang diolah dari pelepah pisang untuk menambah pendapatan masyarakat. Polimer yang diperkuat serat (*FRP*) dan komposit yang diperkuat serat alami (*NFRC*) semakin banyak digunakan di berbagai industri karena sifatnya yang menguntungkan (Lekatompessy et al., 2025). Masyarakat dapat memanfaatkan limbah serat alami seperti pelepah pisang. Namun, dampak lingkungannya merupakan pertimbangan yang signifikan. Bahan *FRP* dikenal karena rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan korosi, dan daya tahannya, membuatnya cocok untuk aplikasi konstruksi dan kedirgantaraan. *NFRC*, di sisi lain, dihargai karena keberlanjutan dan penggunaan sumber daya terbarukan. Kedua bahan memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda, terutama mengenai dampak lingkungannya.

### 1. Keuntungan FRP dan NFRC

**Kekuatan dan Daya Tahan:** Bahan *FRP* menawarkan sifat mekanik yang unggul, seperti kekuatan tarik tinggi dan ketahanan terhadap korosi, yang membuatnya ideal untuk digunakan di lingkungan yang keras seperti jembatan dan komponen kedirgantaraan (Belarbi et al., 2016; Żyjewski et al., 2017). *NFRC*, meskipun tidak sekuat *FRP*, memberikan sifat mekanik yang cukup untuk aplikasi di industri otomotif dan kedirgantaraan, di mana bahan ringan sangat penting (Musthaq et al., 2023).

**Keberlanjutan dan Efisiensi Sumber Daya:** *NFRC* terbuat dari sumber daya terbarukan, yang mengurangi ketergantungan pada bahan berbasis minyak bumi dan berkontribusi pada keberlanjutan (Kamarudin et al., 2022). Mereka juga dapat terurai secara hayati, yang meminimalkan jejak lingkungan mereka di akhir siklus hidupnya (Kamarudin et al., 2022).

**Manfaat Lingkungan *FRP*:** Bahan *FRP* dapat didaur ulang, dan penggunaannya dalam konstruksi dapat mengurangi kebutuhan akan bahan tradisional seperti baja dan beton, yang memiliki jejak karbon yang lebih tinggi (Sbahieh et al., 2023; Żyjewski et al., 2017). Penggunaan *FRP* dalam konstruksi juga dapat menyebabkan penghematan energi selama siklus hidup struktur karena sifatnya yang ringan dan berkurangnya kebutuhan pemeliharaan (Belarbi et al., 2016).

### 2. Kekurangan NFRC

**Degradasi Lingkungan:** Bahan *FRP* dan *NFRC* rentan terhadap degradasi lingkungan. *FRP* dapat mengalami kerusakan karena paparan berbagai kondisi lingkungan, yang dapat mempengaruhi kinerja jangka panjangnya (Ray & Rathore, 2015). *NFRC* sangat rentan terhadap penyerapan kelembaban, yang dapat menurunkan sifat mekaniknya dari waktu ke waktu (Musthaq et al., 2023).

**Emisi VOC:** Proses pembuatan bahan *FRP* melibatkan emisi senyawa organik yang mudah menguap (*VOC*), yang berkontribusi terhadap polusi udara dan memiliki dampak lingkungan (Hao et al., 2022). Proses produksi untuk *FRP*, seperti pencetakan, padat energi dan berkontribusi pada emisi gas rumah kaca (Oyiborhoro et al., 2024).

**Tantangan Akhir Masa Pakai:** Pembuangan bahan *FRP* menimbulkan tantangan lingkungan karena sifatnya yang tidak dapat terurai secara hayati. Meskipun opsi daur ulang ada, mereka belum diterapkan secara luas, yang mengarah ke akumulasi TPA (Oyiborhoro et al., 2024; Zhang, 2015). *NFRC*, meskipun dapat terurai secara hayati, mungkin masih memerlukan kondisi khusus untuk dekomposisi yang efektif, yang tidak selalu tersedia di lingkungan TPA (Kamarudin et al., 2022).



Penggunaan *Natural Fiber Reinforced Composites (NFRC)* untuk kapal menghadirkan manfaat potensial dan tantangan bagi ekosistem dan kehidupan laut sekitarnya. Sementara *NFRC* menawarkan alternatif yang lebih berkelanjutan untuk bahan tradisional seperti plastik bertulang kaca (*GRP*), dampaknya terhadap lingkungan laut memerlukan pertimbangan yang cermat. Transisi ke *NFRC* dapat mengurangi beberapa masalah lingkungan yang terkait dengan bahan konvensional, tetapi juga memperkenalkan tantangan baru yang perlu ditangani.

### 3. Manfaat Lingkungan dari *NFRC*

**Keberlanjutan dan Pembaruan:** *NFRC* berasal dari serat alami seperti kenaf, bambu, dan pisang, yang merupakan sumber daya terbarukan. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan komposit sintetis seperti *GRP*, yang berasal dari sumber daya tak terbarukan dan memiliki jejak lingkungan yang signifikan selama produksi dan pembuangan (Yang et al., 2018).

**Pengurangan Polusi:** Tidak seperti *GRP*, yang terdegradasi menjadi serat mikro yang mencemari lingkungan laut dan memasuki rantai makanan, *NFRC* cenderung tidak berkontribusi terhadap polusi tersebut (Lekatompessy et al., 2025). Serat alami dalam *NFRC* dapat terurai secara hayati, berpotensi mengurangi akumulasi limbah laut jangka panjang (Ciocan, Annels, et al., 2024).

### 4. Tantangan

**Sifat Mekanik:** *NFRC* sering memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit tradisional, yang dapat membatasi penerapannya di lingkungan laut di mana daya tahan dan kekuatan sangat penting. Hal ini memerlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan teknik interfase dan fabrikasi untuk meningkatkan kinerjanya (Yang et al., 2018).

**Life Cycle dan Pembuangan:** Meskipun *NFRC* lebih ramah lingkungan selama produksi, dampak siklus hidupnya, termasuk pembuangan, memerlukan evaluasi komprehensif. *Life Cycle Assessment (LCA)* dapat membantu dalam memahami dampak lingkungan penuh dari *NFRC* dibandingkan dengan bahan lain (Nakielski, 2023).

### 5. Dampak pada Kehidupan Laut

**Potensi untuk Mengurangi Toksisitas:** Penggunaan *NFRC* berpotensi mengurangi konsumsi serat mikro berbahaya oleh organisme laut, seperti bivalvia, yang saat ini berisiko dari partikel *GRP*. Hal ini dapat mengarah pada peningkatan hasil kesehatan untuk spesies ini, yang sangat penting untuk menjaga keanekaragaman hayati laut (Ciocan, Annels, et al., 2024; Ciocan, Jha, et al., 2024).

**Polusi Kebisingan:** Sementara fokus *NFRC* adalah pada keberlanjutan material, penting untuk mempertimbangkan peran mereka dalam polusi suara. Meskipun *NFRC* sendiri tidak secara langsung mengatasi masalah kebisingan, teknologi propulsi yang lebih tenang dan praktik operasional harus diintegrasikan dengan penggunaannya untuk mengurangi polusi kebisingan (Güney & Kinaci, 2024).

Berbeda dengan manfaat potensial dari *NFRC*, penggunaan *GRP* dan bahan sintetis lainnya saat ini di lingkungan laut menimbulkan risiko ekologis yang signifikan. Degradasi *GRP* menyebabkan pelepasan serat mikro yang mencemari ekosistem laut dan memasuki rantai makanan, menimbulkan risiko kesehatan bagi organisme laut dan potensi manusia (Ciocan, Jha, et al., 2024). Selain itu, kurangnya solusi daur ulang untuk *GRP* mengakibatkan kapal yang ditinggalkan, semakin



memperburuk kontaminasi lingkungan (Ciocan, Annel, et al., 2024). Oleh karena itu, sementara *NFRC* menawarkan alternatif yang menjanjikan, adopsi mereka harus disertai dengan kemajuan dalam kinerja material dan *LCA* untuk sepenuhnya mewujudkan manfaat ekologisnya.

#### 6. Dampak Luas terhadap Lingkungan

Sementara bahan *FRP* dan *NFRC* menawarkan keuntungan yang signifikan dalam hal kinerja dan keberlanjutan, namun dampak lingkungannya tidak dapat diabaikan. Produksi dan pembuangan bahan-bahan ini berkontribusi terhadap perubahan lingkungan, dan upaya untuk mengurangi dampak ini sangat penting. Inovasi dalam daur ulang dan pengembangan resin berbasis bio untuk *FRP* dapat meningkatkan kredibilitas lingkungan sekitar. Demikian pula, meningkatkan ketahanan kelembaban *NFRC* dapat memperluas penerapan dan umur panjangnya.

Karena industri terus memprioritaskan keberlanjutan, pengembangan komposit yang lebih ramah lingkungan dan penerapan penilaian *life cycle* akan sangat penting dalam meminimalkan racun terhadap lingkungan dari bahan-bahan ini.

## METODE PELAKSANAAN KEGIATAN

Pengabdian kepada masyarakat negeri Mamala khususnya komunitas anak muda Pausela Mamala dilaksanakan menggunakan metode ceramah dan diskusi tanya jawab mengenai pentingnya mengurangi polusi akibat penggunaan material serat sintetis dengan beralih ke penggunaan material serat natural/alami untuk mengurangi emisi gas buang dan racun bagi lingkungan air, darat dan udara. Sebagai pelaksana kegiatan ini Tim PKM terdiri dari 4 orang Dosen dan 3 orang mahasiswa Prodi Teknik Perkapalan Universitas Pattimura turun ke lokasi di Negeri Mamala Kecamatan Leihitu Kabupaten Maluku Tengah.

Tujuan dari pelaksanaan PkM di negeri Mamala yaitu:

1. Sosialisasi atau ceramah tentang potensi penggunaan serat alami yang ada di desa Mamala yaitu serat Abaka (pelepeh pisang) untuk serat pengganti serat sintetis pembuatan perahu, kepada Komunitas Anak Muda Pausela Mamala.
2. Diskusi dan tanya jawab terkait potensi penggunaan serat alami sebagai material pembuatan perahu nelayan dan nilai ekonomisnya.

Kegiatan dilaksanakan pada tanggal 15 Juni 2025 bertempat di gedung Puskesmas Negeri Mamala. Sasaran adalah komunitas anak muda Pausela Mamala. Data diperoleh melalui wawancara dengan penduduk setempat. Limbah hasil panen pisang yaitu gedebog pisang atau batang pisang ditinggal membusuk. Limbah ini berpotensi untuk digunakan sebagai serat substitusi untuk material komposit pembuat perahu atau material untuk reparasi perahu yang bocor. Peluang ini yang disosialisasikan kepada komunitas sebagai penerus bangsa yang sadar akan pentingnya menjaga lingkungan hidup dari *global warming*.

## IMPLEMENTASI KEGIATAN DAN PEMBAHASAN

Material serat alami kenaf, gedebog pisang atau serat lainnya membuka peluang menjadi material pengganti *FRP* karena lebih ramah lingkungan. Dengan material *kenaf composite* atau abaka ini dapat mengurangi polusi dan ramah



lingkungan. Pengabdian kepada Masyarakat memberikan pemahaman agar masyarakat memiliki pilihan alternatif material serat lain untuk membuat atau memperbaiki kapal atau perahu mereka yang *eco friendly*. Komunitas diberikan form kuisisioner sebanyak 17 orang, yang berupa tes awal untuk mengetahui apakah informasi yang disampaikan mengubah cara pandang terhadap pemanfaatan limbah sebagai serat alami yang bermanfaat, turut mendukung pencegahan *global warming*, toksinitas di lingkungan akibat penggunaan serat sintetis dan menyadari pentingnya menjaga lingkungan dari polusi.

1. Tes awal: untuk mengetahui tingkat pemahaman kelompok pemuda pausela mamala tentang serat alami pengganti *Fiber Reinforced Plastic (FRP)* bahaya dan kegunaannya (17 responden).
2. Pemberian materi: Sosialisasi atau ceramah tentang potensi penggunaan serat alami yang ada di desa Mamala yaitu serat pelepah pisang untuk serat pengganti serat sintetis pembuatan perahu, kepada Komunitas Anak Muda Pausela Mamala.
3. Tes akhir: untuk mengetahui keberhasilan sosialisasi tentang pemahaman kelompok pemuda pausela mamala tentang serat alami pengganti *Fiber Reinforced Plastic (FRP)* bahaya dan kegunaannya (17 responden).

Hasil evaluasi:

Berdasarkan hasil tes awal, Tingkat pemahaman pengetahuan kelompok pemuda Pausela Mamala mengenai topik sosialisasi adalah 1%. Setelah diajukan 10 pertanyaan terkait materi yang akan diberikan.

Setelah dilakukan tes akhir, kelompok pemuda Pausela Mamala memahami pentingnya gerakan untuk ikut dalam mendukung lingkungan yang bersih sesuai topik sosialisasi. Tingkat pemahaman mencapai 100%.

Dari hasil ini menunjukkan bahwa hasil sosialisasi harus ditindaklanjuti dengan pelatihan pembuatan material *NFRC* dari serat alami walau masih dalam bentuk bahan baku lembaran *NFRC*.

Luaran yang dicapai dari kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat adalah terbentuknya pemahaman masyarakat untuk memilih alternatif serat alami yang ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan material *FRP* yang biasa dipakai. Masyarakat diarahkan memanfaatkan limbah gedebog/pelepah pisang abaka atau pisang lainnya yang diolah dan seratnya dapat digunakan sebagai bahan dasar industri pembuatan kapal-kapal nelayan atau dapat digunakan sebagai bahan dasar industri rumah tangga.

Gambar 1, 2, 3 dan 4 merupakan bahan dasar serat alami kenaf dan batang pisang untuk pembuatan material komposit atau yang dikenal dengan nama *Natural Fiber Reinforced Composite (NFRC)*. Penelitian sementara terus dikembangkan agar lingkungan terjaga dan tetap lestari.



**Gambar 1.** Batang Kenaf



**Gambar 2.** Batang Pisang



**Gambar 3.** Serat Batang Kenaf



**Gambar 4.** Serat Batang Pisang



**Gambar 5.** Sosialisasi di Negeri Mamala



**Gambar 6.** Penyampaian Materi Sosialisasi



**Gambar 7.** Bersama Bapak Sekretaris Negeri Mamala

## KESIMPULAN

Sebelum dilakukan kegiatan PKM Sosialisasi di Negeri Mamala mengenai material *NFRC* dan bahayanya penggunaan material *FRP* atau *GRP* mereka tidak mengetahui secara baik kalau limbah material ini mengakibatkan polusi dan merusak lingkungan akibat tidak dapat terurai baik di alam. Setelah sosialisasi mereka jadi mengetahui bahayanya limbah plastik bagi lingkungan sebagaimana hasil evaluasi yang dilakukan. Masyarakat diberi alternatif lain yaitu bisa memanfaatkan limbah pelepah pisang yang diolah untuk dijadikan bahan dasar pengganti perahu atau kapal-kapal kecil maupun bahan dasar industri rumah tangga.

Diharapkan setelah masyarakat mengetahui manfaat dari material *NFRC* mereka dapat mengadopsi pengolahan limbah pelepah pisang dan menjadikannya sebagai sumber pendapatan lain. Walaupun PKM ini diawali dengan ceramah, diharapkan masyarakat bisa menerima industri kecil pengolahan limbah gedebog/pelepah pisang sebagai serat alami atau *NFRC* sebagai desa contoh ketika diterapkan.

Sosialisasi ditindaklanjuti di kali berikut dengan program PKM yaitu pengolahan limbah gedebog/pelepah pisang menjadi serat alami *NFRC*, dengan menggunakan anggaran PKM yang akan diusulkan di tahun mendatang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Fakultas Teknik Universitas Pattimura atas dukungan dana yang diberikan juga pada LPPM Universitas Pattimura sebagai pengayom kegiatan Dosen Mengabdikan. Ucapan terima kasih juga ditujukan buat komunitas anak muda Pausela Mamala di negeri Mamala yang telah bersedia dan mendukung kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Belarbi, A., Dawood, M., & Acun, B. (2016). Sustainability of fiber-reinforced polymers (FRPs) as a construction material. In *Sustainability of Construction Materials* (pp. 521–538). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00020-2>
- Bledzki, A. K., Seidlitz, H., Krenz, J., Goracy, K., Urbaniak, M., & Rösch, J. J. (2020). Recycling of Carbon Fiber Reinforced Composite Polymers—

- Review—Part 2: Recovery and Application of Recycled Carbon Fibers. *Polymers*, 12(12), 3003. <https://doi.org/10.3390/polym12123003>
- Ciocan, C., Annels, C., Fitzpatrick, M., Couceiro, F., Steyl, I., & Bray, S. (2024). Glass reinforced plastic (GRP) boats and the impact on coastal environment – Evidence of fibreglass ingestion by marine bivalves from natural populations. *Journal of Hazardous Materials*, 472, 134619. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134619>
- Ciocan, C., Jha, K., Annels, C., Kozloski, R., Steyl, I., & Bray, S. (2024). Release of a “forever material” from end-of-life boats and glass-reinforced composite boats is pervasive and entering food chains. *Global Change Biology*, 30(9), e17520. <https://doi.org/10.1111/gcb.17520>
- Colombo, B., Gaiardelli, P., Dotti, S., & Caretto, F. (2022). Recycling technologies for fibre-reinforced plastic composite materials: A bibliometric analysis using a systematic approach. *Journal of Composite Materials*, 56(19), 3063–3080. <https://doi.org/10.1177/00219983221109877>
- Güney, C. B., & Kinaci, O. K. (2024). Ecological effects and mitigation strategies for underwater noise from shipping activities. *Ships and Offshore Structures*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/17445302.2024.2443083>
- Hao, R., Xue, S., Sun, H., Yang, T., & Wang, H. (2022). Emission Characteristics and the Environmental Impact of VOCs from Typical FRP Manufacture Industry. *Atmosphere*, 13(8), 1274. <https://doi.org/10.3390/atmos13081274>
- Kamarudin, S. H., Mohd Basri, M. S., Rayung, M., Abu, F., Ahmad, S., Norizan, M. N., Osman, S., Sarifuddin, N., Desa, M. S. Z. M., Abdullah, U. H., Mohamed Amin Tawakkal, I. S., & Abdullah, L. C. (2022). A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composites (NFRPC) for Sustainable Industrial Applications. *Polymers*, 14(17), 3698. <https://doi.org/10.3390/polym14173698>
- Lekatompessy, D. R., Tutuhaturunewa, A., Charry, M., Bumbungan, R. L., & Lernaya, J. R. (2025). Potential of Kenaf as a Fiber Replacement in FRP Material for Ship Construction. *International Journal on Engineering Applications (IREA)*, 13(4), 422. <https://doi.org/10.15866/irea.v13i4.25655>
- Musthaq, M. Ahmed., Dhakal, H. N., Zhang, Z., Barouni, A., & Zahari, R. (2023). The Effect of Various Environmental Conditions on the Impact Damage Behaviour of Natural-Fibre-Reinforced Composites (NFRCs)—A Critical Review. *Polymers*, 15(5), 1229. <https://doi.org/10.3390/polym15051229>
- Nakielski, J. (2023). Analysis of the Environmental Impact of the Hull Construction of a Small Vessel Based on LCA. *Polish Maritime Research*, 30(4), 54–60. <https://doi.org/10.2478/pomr-2023-0058>
- Oyiborhoro, G., Anegbe, B., Odiachi, I. J., Atoe, B., & Ifijen, I. H. (2024). Environmental Impact of Multi-component Fiber-Reinforced Composites: Challenges and Green Solutions. In The Minerals, Metals & Materials Society (Ed.), *TMS 2024 153rd Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings* (pp. 1237–1252). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-50349-8\\_107](https://doi.org/10.1007/978-3-031-50349-8_107)



- Sbahieh, S., Mckay, G., & Al-Ghamdi, S. G. (2023). A comparative life cycle assessment of fiber-reinforced polymers as a sustainable reinforcement option in concrete beams. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1194121. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1194121>
- Yang, M. F. M., Hamid, H., & Abdullah, A. M. (2018). Potential Use of Cellulose Fibre Composites in Marine Environment—A Review. In A. Öchsner (Ed.), *Engineering Applications for New Materials and Technologies* (Vol. 85, pp. 25–55). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72697-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72697-7_3)
- Zarafshani, H., Watjanatepin, P., Lepelaar, M., Verbruggen, J., Ouagne, P., Luca, R., Li, Q., Scarpa, F., Placet, V., & Acker, K. (2023). *Environmental Assessment of Woven Hemp Fibre Reinforced Epoxy Composites and Potential Applications in Aerospace and Electric Scooter Industries*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3251565/v1>
- Zhang, C. (2015). The environmental impacts of fibre-reinforced polymer composites in construction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 168(6), 276–286. <https://doi.org/10.1680/coma.14.00059>
- Żyjewski, A., Chróścielewski, J., & Pyrzowski, Ł. (2017). The use of fibre-reinforced polymers (FRP) in bridges as a favourable solution for the environment. *E3S Web of Conferences*, 17, 00102. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171700102>

