

## Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka

### Natural Fiber as A Friendly Environmental Composite Material, A Literature Review

Sudirman Habibie<sup>a\*</sup>, Nandang Suhendra<sup>a</sup>, Seto Roseno<sup>a</sup>, Budiman Adi Setyawan<sup>b</sup>, Mahendra Anggaravidya<sup>a</sup>, Saeful Rohman<sup>a</sup>, Riesma Tasomara<sup>a</sup>, Agus Muntarto<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Pusat Teknologi Material, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Puspiptek Gedung 224, Tangerang Selatan, Banten, 15314

<sup>b</sup>Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta

<sup>c</sup>PT. Sri Rezeki Isman, Tbk

\*Surel: sudirmanhabibie@yahoo.com

---

#### INFO ARTIKEL

#### Abstract

Diterima 17 Agustus 2020  
Direvisi 17 Desember 2021  
Disetujui 30 Desember 2021  
Nomor Artikel 202101  
Halaman 1 - 13

---

#### Kata kunci:

Serat alami  
Komposit  
Tekstil

*Natural fibers, in lieu of engineered fibers, have become one of the most researched topics in recent years. This is due to inherent properties, such as biodegradability, recency and abundant availability when compared to synthetic fibers. This paper reviews several natural fibers as environmentally friendly composite materials. Natural fibers are classified according to the source of fiber, namely seed fiber (cotton and kapok), stem fiber (jute, flax, ramie, kenaf), and leaf fiber (sisal and abaca). Of the many natural fibers, almost all of them can be used as composite raw materials. To obtain optimal natural fiber composite results, natural fibers should be woven (textile form) to obtain high strength, evenness and stability. Meanwhile, as a matrix, synthetic resins can be used such as resins based on polypropylene, polyester, polyethylene and others.*

*Key words: natural fibers, composites, textiles.*

#### Abstrak

Serat alami, sebagai pengganti serat yang direkayasa, telah menjadi salah satu topik yang paling banyak diteliti selama beberapa tahun terakhir. Ini karena sifat-sifat yang melekat, seperti biodegradabilitas, keterbaruan dan ketersediaannya yang melimpah jika dibandingkan dengan serat sintetis. Tulisan ini me review beberapa serat alami sebagai bahan komposit ramah lingkungan. Serat alami digolongkan menurut sumber seratnya, yaitu serat biji (cotton dan kapok), serat batang (jute, flax, rami, kenaf), dan serat daun (sisal dan abaca). Dari sekian banyak serat alami tersebut, hampir semuanya dapat digunakan sebagai bahan baku komposit. Untuk memperoleh hasil komposit serat alami yang optimal, maka sebaiknya serat alami ditenun (bentuk tekstil) untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, kerataan dan kestabilan. Sedangkan sebagai matrix dapat digunakan resin sintetik seperti resin berbasis polipropilene, polyester, poliethilene dan lain-lain.

© 2021 JITM.

## **PENDAHULUAN**

Serat alami, sebagai pengganti serat yang direkayasa, telah menjadi salah satu topik yang paling banyak diteliti selama beberapa tahun terakhir. Ini karena sifat-sifat yang melekat, seperti biodegradabilitas, keterbaruan dan ketersediaannya yang melimpah jika dibandingkan dengan serat sintetis. Serat sintetis berasal dari sumber daya terbatas (bahan bakar fosil) dan karenanya, terutama dipengaruhi oleh harga minyak volatilitas dan akumulasi mereka di lingkungan dan/atau lokasi TPA sebagai kelemahan utama sifat mekanik dan sifat termal mereka melebihi serat alami. Kombinasi serat/pengisi ini, sebagai penguat berbagai bahan polimer, menawarkan peluang baru untuk menghasilkan bahan dan struktur multifungsi untuk aplikasi canggih.[1]

Selain energi, perlindungan lingkungan adalah salah satu masalah utama yang dihadapi generasi saat ini. Strategi baru diperlukan sekarang lebih dari sebelumnya untuk melindungi lingkungan atau menghasilkan produk, yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Serat alami telah banyak memperoleh perhatian sebagai alternatif pengganti untuk serat sintetis, sebagai penguat berbagai resin untuk aplikasi komposit karena sifat-sifatnya, seperti: kepadatan rendah, kekuatan spesifik tinggi dan terbarukan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan [2-4]. Serat alami memiliki fitur unik, seperti: biaya rendah, ketersediaan berlimpah dan sumber daya terbarukannya menyerap karbon dioksida, yang mengurangi polusi lingkungan. Selama pemrosesan, serat alami tidak menghasilkan gas berbahaya dan tidak abrasif terhadap peralatan pemrosesan. Perhatian utama serat alami adalah sifat hidrofilik yang diwariskan dan sangat mudah terbakar yang membatasi keberhasilannya dalam penguatan polimer. Karakter hidrofilik mereka menghasilkan penyerapan air yang tinggi, adhesi antar-muka matriks-serat yang buruk dan dispersi serat yang buruk. Sebuah penelitian yang cukup signifikan telah dilakukan perlakuan pada permukaan serat alami untuk mengatasi keterbatasan ini [2,3,5,6]. Diakui bahwa berbagai aspek seperti kondisi pertumbuhan, metode panen, dan kematangan sering mempengaruhi sifat serat alami. Keterbatasan serat sintetis adalah biaya tinggi dan mereka berasal dari sumber daya yang terbatas, yaitu. bahan bakar fosil[2]. Pemrosesan bahan bakar fosil saja menghasilkan berbagai gas (mis. CO<sub>2</sub>, metana, dinitrogen oksida dan banyak lainnya), yang berkontribusi pada pencemaran lingkungan yang tidak diinginkan. Selain itu, selama produksi komposit, gas berbahaya dibebaskan, yang menyebabkan penyakit mengerikan, mis. kanker dan proses serat sintetis

dapat menyebabkan abrasif ke peralatan pemrosesan. Namun disisi lain, serat sintetis memiliki umur yang panjang, yang menawarkan lebih banyak keuntungan terhadap aplikasi industri [2-6].

Kesadaran lingkungan telah menarik para peneliti untuk membuat komposit baru dengan lebih dari satu penguatan sumber daya alam melalui hibridisasi. Hibridisasi melibatkan kombinasi bahan pengisi dan serat alami yang menghasilkan peningkatan sifat mekanik komposit [7,8]. Banyak literatur tersedia yang menunjukkan sifat mekanis komposit serat alami. Kinerja mekanis komposit yang diperkuat serat dapat dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk volume atau fraksi berat tulangan, orientasi serat, rasio aspek serat, adhesi serat-matriks, penyejajaran serat, distribusi, penggunaan aditif, dan perlakuan kimia serat. Penting untuk menambahkan bahwa penyerapan kelembaban komposit juga mempengaruhi perilaku mekanis komposit yang mengarah pada ikatan antar muka yang buruk antara serat dan polimer matriks hidrofobik [9-11].

Selama beberapa dekade terakhir, upaya telah dilakukan dalam mengembangkan bahan yang menggantikan bahan yang ada untuk memiliki sifat mekanik dan tribologis yang lebih baik untuk berbagai aplikasi [12,13]. Dalam pandangan ini bahan monolitik digantikan oleh serat dan bahan-bahan seperti karbon, kaca, serat aramid yang banyak digunakan dalam industri penerbangan, otomotif, konstruksi, dan olahraga, dll [11,14]. Namun, bahan-bahan ini memiliki beberapa kelemahan seperti non-biodegradabilitas, non-terbarukan, persyaratan energi tinggi untuk produksi, dan juga berbahaya bagi lingkungan karena produksi bahan-bahan ini melepaskan sejumlah besar karbon dioksida ke atmosfer. Oleh karena itu, untuk mengatasi semua kelemahan ini para peneliti telah berupaya untuk mempelajari berbagai komposit yang diperkuat serat alami yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga mereka dapat menggantikan serat sintetis dalam berbagai aplikasi [15,16]. Karena permintaan untuk bahan baru yang memiliki sifat lebih baik daripada yang sudah ada, para peneliti telah mencoba berbagai jenis bahan alami dengan serat alami berbeda yang diperoleh dari buah, biji, daun, batang, hewan, dll [17]. Sifat-sifat beberapa serat alami yang penting disajikan pada Tabel 1. Seperti dibahas di atas, serat alami dimodifikasi dengan menggunakan perlakuan kimia yang berbeda sehingga memodifikasi sifat-sifat dan meningkatkan sifat-sifat komposit serat alami. Juga, polimer dan bahan sintetis lainnya telah digunakan bersama dengan serat alami untuk meningkatkan sifat-sifat serat alami dan ide-ide ini telah menyebabkan pengembangan beberapa komposit hibrida yang diperkuat dengan serat alami,

dan bahan pengisi [18-20].

Serat alami sangat ringan jika dibandingkan dengan serat sintetis. Bahan komposit polimer sintetis dapat digantikan oleh bahan komposit serat-polimer alami karena kekuatan dan modulus spesifik tinggi, ketersediaan, biaya rendah, ringan, dapat didaur ulang, biodegradabilitas, tidak adanya bahaya kesehatan dan sifat non-abrasif. Komposit menggunakan serat alami dan resin berbasis bio diperkirakan akan berkembang eksplosif dalam beberapa tahun mendatang. Meskipun ada banyak jenis resin termoset yang digunakan dalam industri komposit, bagian strukturalnya terutama terbuat dari poliester, vinilester, epoksi dan fenol-formaldehida, dll. Hambatan utama dalam penggunaan luas serat alami ini dalam berbagai matriks polimer adalah kompatibilitas yang buruk antara serat dan matriks dan karakteristik penyerapan kelembaban tinggi yang melekat yang membawa perubahan dimensi pada serat berbasis ligno-selulosa [24].

Kajian Pustaka ini dilakukan dengan tujuan dan pertimbangan bahwa perkembangan komposit berbasis serat alami merupakan suatu material alternative yang akan menggantikan material-material konvensional yang ada saat ini mengingat komposit jenis ini akan mempunyai sifat-sifat unggul yang tidak dimiliki oleh material lain, seperti : kekuatan tinggi, sustainable, daya lentur dan biodegradable, tersedia dalam negeri, dan lebih murah serta yang utama adalah ramah terhadap lingkungan. Untuk meningkatkan kekuatan komposit maka serat alam perlu di buat tekstil tenun untuk memperoleh kekuatan yang merata atau uniform.

## METODE

Beberapa tahun terakhir, serat alam sudah menjadi trend karena menggunakan serat sintetis banyak menimbulkan masalah khususnya pada proses pembuatannya dan paska penggunaannya terhadap lingkungan. Jadi diharapkan serat alami dapat menggantikan peran serat sintetis untuk beberapa penggunaan di industry seperti : komposit dan lain-lain. Untuk melengkapi studi pemanfaatan serat alami untuk komposit ramah lingkungan maka dilakukan kajian Pustaka baik itu berupa kajian serat alami, komposit dan tekstil serta aplikasinya. Kajian ini dilakukan terhadap beberapa referensi utama dan sejumlah referensi pendukung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tanaman Serat

Alam dalam kelimpahannya memberi kita banyak bahan yang bisa disebut berserat. Serat tanaman diperoleh dari berbagai bagian tanaman, seperti biji (kapas, kapuk, milkweed), batang (jute, flax, rami, kenaf, jelatang, bambu), dan daun (sisal, manila, abaca), buah (sabut) dan serat rumput lainnya. Serat dari tanaman ini dapat dianggap benar-benar terbarukan dan dapat terurai secara hayati. Serat tanaman, yang memiliki sejarah panjang dalam peradaban manusia, telah memperoleh nilai ekonomis dan sekarang dibudidayakan dalam skala besar secara global [25,26].

Tabel 1. Sifat-sifat Serat Alami [21-23]

Serat	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Jute	1.23	325-770	37.5-55	2.5
Flax	1.38	700-1000	60-70	2.3
Hemp	1.35	530-1110	45	3
Ramie	1.44	915	23	3.7
Banana	1.35	721.5-910	29	2
Pineapple	1.5	1020-1600	71	0.8
Kenaf	1.2	745-930	41	1.6
Coir	1.2	140.5-175	6	27.5
Sisal	1.2	460-855	15.5	8
Abaca	1.5	410-810	41	3.4
Cotton	1.21	250-500	6-10	7

Banyak serat bermanfaat telah diperoleh dari berbagai bagian tanaman termasuk daun, batang (serat kulit pohon), buah-buahan dan biji-bijian. Dimensi geometris serat ini, terutama panjang serat tergantung terutama pada lokasi serat dalam tanaman. Serat dari buah dan biji panjangnya beberapa sentimeter, sedangkan serat dari batang dan daun jauh lebih panjang (lebih dari satu meter) [27].

Serat nabati umumnya terdiri dari tiga polimer struktural (polisakarida selulosa, dan hemiselulosa dan lignin polimer aromatik) serta oleh beberapa komponen kecil non-struktural (mis. Protein, ekstraktif, mineral) [28]. Selulosa membentuk struktur kristal dengan daerah orde tinggi yaitu daerah kristal dan daerah orde rendah yaitu daerah amorf. Lama lamelia yang terdiri dari polisakarida pektik menghubungkan sel-sel individual dalam bundel [29].

### Sumber dan Sifat-sifat Beberapa Serat Alami

Serat alami adalah bahan yang berkelanjutan yang mudah tersedia di alam dan memiliki keunggulan seperti berbiaya rendah, ringan, terbarukan, biodegradabilitas, dan sifat spesifik yang tinggi. Beberapa tanaman serat yang banyak digunakan untuk tekstil dan sejenisnya dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Serat tekstil secara luas diklasifikasikan sebagai serat alami dan serat buatan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Serat alami mengacu pada

serat yang terjadi dalam alam, dan ditemukan dalam sayuran masing-masing tanaman (serat selulosa), hewan (serat protein) dan mineral (asbes). Serat buatan adalah serat yang tidak ada di alam, meskipun seratnya mungkin terdiri dari bahan-bahan alami. Mereka diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama: yang dibuat oleh transformasi polimer alami (serat regenerasi), yang terbuat dari poli sintetis (serat sintetis), dan yang terbuat dari bahan anorganik (serat yang terbuat dari logam, elektronik, dan karbon atau kaca) [26].

Alam dalam kelimpahannya memberi kita banyak bahan yang bisa disebut berserat. Serat tanaman diperoleh dari berbagai bagian tanaman, seperti biji (kapas, kapuk, milkweed), batang (rami, rami, kenaf, jelatang, bambu), dan daun (sisal, manila, abaca), buah (sabut) dan serat rumput lainnya. Serat dari tanaman ini dapat dianggap benar-benar terbarukan dan dapat terurai secara hayati. Serat tanaman, yang memiliki sejarah panjang dalam peradaban manusia, telah memperoleh nilai ekonomis dan sekarang dibudidayakan dalam skala besar secara global [26,30].

Dari Tabel 2 dapat dilihat begitu luasnya sumber bahan baku serat alam baik itu serat selulosa, serat protein, polimer alami, polimer sintetis dan anorganik. Namun dalam tulisan ini difokuskan pada bahan baku serat alami nabati atau serat dari tumbuh-tumbuhan.

**Tabel 2. Klasifikasi Serat Tekstil [30]**

SERAT ALAMI	SERAT BUATAN
<b>Asal Nabati – Serat Selulosa</b>	<b>Berbasis Polimer Alami</b>
<b>Serat Biji:</b> Kapas, Kapok	<b>Selulosa Regenerasi:</b> Viscose, Modal, Lyocell, Cupro
<b>Serat Batang:</b> Jute, Flax, Hemp, Rami, Kenaf	<b>Protein Regenerasi:</b> Casein, Arachin Zein
<b>Serat Daun:</b> Sisal, Abaca, Henequen	<b>Selulosa Esters :</b> Asetat
	<b>Karet:</b> Elastomer
	<b>Alginate</b>
<b>Asal Hewan - Serat Protein</b>	<b>Berbasis Polimer Sintetis</b>
Wool	Acrylic, Aramid, Chlorofibre,
Serat Rambut : Angora, Mohair, Alpaca	Fluorofibre, Modacrylic, Polyamide,
Sutera	Polyester, Polyethylene, Polyimide,
	Polypropylene, Vinylal, Polyactide.
<b>Anorganik</b>	<b>Anorganik</b>
Asbestos	Karbon, Keramik, Glass, Metal

## **Serat Alami Nabati**

### **Serat Biji**

#### **Cotton (Gossypium)**

Kapas milik sub-suku Hibisceae dan keluarga Malvaceae adalah tanaman pertanian yang penting [31]. Ini adalah serat alami yang biasa digunakan untuk produksi kain. Kapas ditanam di daerah tropis dan subtropis, dan Cina adalah produsen kapas terbesar diikuti oleh India dan Amerika Serikat [32]. Di antara berbagai spesies kapas, kapas dataran tinggi (*Gossypium hirsutum*) dan kapas pima (*Gossypium barbadense*) adalah yang paling populer [33]. Daun kapas dikeluarkan dan dikumpulkan dan dikompresi ke dalam "modul" berukuran truk. Kemudian modul diangkut ke pabrik pengolahan yang dikenal sebagai kapas gin. Gin memisahkan biji, batang, duri, dll. dari serat kapas. Serat kapas digunakan secara luas di industri tekstil, dan baru-baru ini upaya telah dilakukan untuk mengembangkan komposit untuk aplikasi industri [34,35].

#### **Kapok (Ceiba pentandra)**

Kapok termasuk dalam keluarga Bombacaceae. Tumbuh di daerah tropis [36]. Serat kapok adalah katun sutra dan warna seratnya kekuningan atau coklat muda. Serat menutupi benih kapok. Serat kapok adalah serat selulosa, ringan, dan hidrofobik [37]. Secara konvensional, serat kapok digunakan sebagai bahan apung, bahan penyerap minyak, bahan penguat, bahan adsorpsi, biofuel, dan lain-lain [38].

### **Serat Batang**

#### **Jute (Corchorus capsularis)**

Jute serat alami penting yang tumbuh di beberapa bagian Asia termasuk India, Bangladesh, Cina, dan Myanmar [39]. Tanaman jute tumbuh hingga 15-20 cm dalam 4 bulan, dan serat diekstraksi setelah panen yaitu sekitar 4 bulan sejak penanaman. Proses retting dilakukan baik dengan bantuan bahan kimia (N<sub>2</sub> H<sub>8</sub> C<sub>2</sub> O<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub> SO<sub>3</sub>, dll) atau secara biologis [40]. Dalam retting biologis, batang yang dipanen diatur dalam bundel dan dibiarkan berendam dalam air selama sekitar 20 hari [41]. Ini menghilangkan pektin antara kulit pohon dan inti kayu yang membantu dalam pemisahan serat. Kemudian serat ini dibiarkan kering.

#### **Flax (Linum usitatissimum)**

Serat Flax diproduksi dari periode prasejarah. Serat-serat ini dipisahkan dari batang tanaman *Linum usitatissimum* terutama digunakan untuk

menghasilkan linen [42]. Ini adalah tanaman selulosa tetapi lebih berbentuk kristal. Serat ini berukuran panjang hingga 90 cm dan diameter 12-16  $\mu\text{m}$ . Belanda, Belgia, dan Prancis adalah produsen terkemuka serat ini. Serat ini digunakan dalam bahan furnitur, seprai tekstil, linen, aksesoris dekorasi interior, dan lain-lain [43]. Ekstraksi serat melibatkan retting, dan membakar kedua proses ini akan membuat beberapa perubahan pada sifat-sifat serat. Retting melibatkan enzim yang mendegradasi pektin di sekitar serat flax yang menghasilkan pemisahan serat. Kanada adalah produsen dan eksportir flax terbesar di dunia, menghasilkan sekitar 872.000 ton [44].

#### **Hemp (Cannabis sativa)**

Hemp adalah salah satu jenis tanaman yang tumbuh terutama di Eropa dan Asia. Tumbuh hingga 1,2-4,5 m dan diameter 2 cm [45]. Lingkaran dalam dikelilingi oleh inti, dan lapisan luar adalah serat kulit pohon dan melekat pada lapisan dalam dengan zat atau pektin seperti lem. Serat ini digunakan dalam tali, tekstil, mulsa kebun, bermacam-macam bahan bangunan dan tempat tidur hewan. Dalam perkembangan terakhir, digunakan untuk membuat komposit yang berbeda [46]. Tanaman Hemp dipanen, dan inti kayu dari serat kulit pohon dipisahkan oleh serangkaian proses mekanis. Inti kayu dibersihkan untuk mendapatkan konten inti yang diperlukan dan kadang-kadang dipotong sesuai ukuran yang diinginkan. Sementara serat kulit pohon yang dipisahkan diproses lebih lanjut untuk membentuk benang atau bundel [47].

#### **Ramie (Boehmeria nivea)**

Ramie adalah salah satu tanaman tahunan herba yang dibudidayakan secara luas di wilayah asli Cina, Jepang, dan Malaysia di mana telah digunakan selama lebih dari satu abad sebagai salah satu kain tekstil [48]. Ramie adalah tanaman yang tidak bercabang, tumbuh cepat yang tumbuh hingga ketinggian 1-2 m. Serat yang diekstraksi dari batang adalah serat kulit pohon yang paling kuat dan terpanjang. Mereka digunakan untuk membuat sweater dalam kombinasi dengan kapas, juga digunakan dalam pelapis, mantel gas, jaring ikan, dan pengemasan laut, dan lain-lain [49]. Selain upaya ini telah dilakukan untuk mengembangkan produk berbasis bio dengan memanfaatkannya di bidang otomotif, furnitur, konstruksi, dll. Serat rami banyak digunakan untuk produksi berbagai tekstil, pulp, dan kertas, agrokimia, komposit, dll. Pemrosesan serat rami mirip dengan linen [50].

### **Kenaf (*Hibiscus cannabinus*)**

Serat kenaf adalah salah satu serat penting milik serat kulit pohon dan terutama digunakan untuk produksi kertas dan tali [51]. Kenaf adalah tanaman berserat. Mereka kaku, kuat, dan tangguh serta memiliki daya tahan tinggi terhadap insektisida. Tanaman ini dibudidayakan 4.000 tahun yang lalu di Afrika, Asia, Amerika, dan beberapa bagian Eropa [52]. Serat diekstraksi dari bunga, serat luar, dan inti dalam. Serat luar dikenal sebagai kulit pohon yang membuat 40% dari berat tangkai kering dan inti bagian dalam terdiri dari 60% dari berat kering tangkai. Tanaman kenaf pada saat panen diproses dengan menggunakan pemisah serat mekanis dan seluruh tangkai digunakan dalam pembuatan pulp. Serat yang diekstraksi harus diperlakukan secara kimia atau bakteri untuk memisahkannya dari zat non-serat seperti lilin, pektin, dan zat lainnya [53]. Serat-serat ini dapat dikonversi menjadi kain tenunan halus. Serat kenaf ramah lingkungan karena sepenuhnya biodegradable. Di masa lalu, serat ini digunakan untuk tekstil, tali, tas penyimpanan, dan orang Mesir menggunakannya untuk membuat perahu. Saat ini serat ini dibuat sebagai komposit bersama dengan bahan lain dan digunakan dalam otomotif, konstruksi, pengemasan, furnitur, tekstil, tikar, bubur kertas, dan lain-lain [54].

### **Serat Daun**

#### **Pineapple Leaf (*Ananas comosus*)**

Tanaman nanas adalah salah satu tanaman yang banyak dibudidayakan dan mudah didapat. Serat daun nanas adalah limbah tanaman setelah penanaman nanas. Ini adalah tanaman tropis pendek tumbuh hingga 1-2 m dan daunnya dalam bentuk cluster terdiri dari 20-30 daun dengan lebar sekitar 6 cm. Kira-kira, 90-100 ton daun nanas ditanam per hektar. Di antara serat alami yang berbeda, serat daun nanas menunjukkan sifat mekanik yang baik. Serat daun nanas adalah multiseluler dan istilah-selulosa. Serat diekstraksi dengan tangan menggunakan pencakar [55]. Berbagai aplikasi dalam mobil, tekstil, tikar, konstruksi, dll. Serat yang dirawat dan dimodifikasi permukaan digunakan untuk membuat kabel sabuk konveyor, kantong udara, komposit canggih, dan lain-lain [56].

#### **Sisal (*Agave sisalana*)**

Sisal adalah salah satu serat alami yang paling banyak digunakan dan Brasil adalah salah satu produsen terbesar serat ini. Ini adalah spesies asli ke Meksiko selatan terdiri dari roset daun tumbuh hingga 1,5-2 m [57]. Sisal menghasilkan sekitar 200–250 daun yang dapat digunakan secara komersial dalam rentang hidup 6-7 tahun. Serat sisal memiliki

kisaran sifat mekanik yang baik dan digunakan dalam industri otomotif, industri perkapalan (untuk menambat kapal kecil dan menangani kargo), konstruksi sipil, digunakan sebagai inti serat dari kabel kawat baja lift, benang pertanian atau benang baler, dan lain-lain [58].

### **Aplikasi Komposit Berbasis Serat Alami**

Kesadaran lingkungan telah menarik para peneliti untuk membuat komposit baru dengan lebih dari satu penguatan sumber daya alam melalui hibridisasi. Hibridisasi melibatkan kombinasi bahan pengisi dan serat alami yang menghasilkan peningkatan sifat mekanik komposit [59]. Banyak literatur tersedia yang menunjukkan sifat mekanis komposit serat alami. Kinerja mekanis komposit yang diperkuat serat dapat dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk volume atau fraksi berat tulangan, orientasi serat, rasio aspek serat, adhesi serat-matriks, penyejajaran serat, distribusi, penggunaan aditif, dan perawatan kimia serat. Penting untuk menambahkan bahwa penyerapan kelembaban komposit juga mempengaruhi perilaku mekanis komposit yang mengarah pada ikatan antar muka yang buruk antara serat dan polimer matriks hidrofobik [60].

Industri otomotif dan pesawat terbang telah secara aktif memproduksi berbagai jenis bagian serat alami untuk komponen interiornya [61,62]. Bahan isolasi juga dibuat dari serat alami untuk area aplikasi yang berbeda, seperti meniup insulasi, menuangkan insulasi, bahan insulasi suara benturan dan panel plafon untuk insulasi termal, dan peredam suara akustik [63]. Serat alami menunjukkan masa depan yang berkelanjutan dalam arsitektur, dengan berbagai macam bahan bangunan, bentuk, dan bahkan meningkatkan bahan yang biasa digunakan saat ini.

Komposit polimer yang diperkuat dengan serat alami telah menunjukkan potensi besar dalam otomotif sebagai bagian-bagian tubuh, perabot rumah tangga, pengemasan makanan, pertanian, bangunan biomedis, dan aplikasi residensial [64]. Serat alami dapat dicampur dengan serat alami lainnya dan juga dapat dimasukkan ke dalam matriks polimer untuk membentuk komposit hibrida. Ini dapat menyeimbangkan biaya serat alami, meningkatkan kinerja dan sifat bahan yang dihasilkan [65]. Edhirej et al. [65] melaporkan bahwa kekuatan tarik optimal dari serat yang diperkuat serat alami-alami dapat diperoleh saat tegangan tinggi tercapai. Penelitian saat ini berfokus pada serat alami-diperkuat komposit hybrid sebagai alternatif yang cocok untuk serat sintetis, seperti serat karbon dan kaca. Banyak peneliti telah menyelidiki sifat mekanik dari serat alami-alami yang memperkuat komposit hibrida [66,67]. Di antara para peneliti ini, Das [90] mengembangkan

komposit hibrida poliester yang diperkuat dengan kain goni tenun dan kertas bekas dan mempelajari sifat mekaniknya bersama dengan sifat mekanik dari masing-masing komposit.

Serat alam berasal dari biji (kapas) banyak digunakan untuk bahan baku tekstil yang halus, kapok biasanya digunakan sebagai pengisi pada beberapa industry furniture, kurang baik untuk tekstil halus karena panjang seratnya kurang dari 2 inchi untuk dipintal. Serat batang seperti flax dan rami banyak digunakan untuk tekstil baik itu tekstil pakain jadi maupun tekstil teknik. Namun serat batang juga baik digunakan sebagai penguat pada pembuatan komposit karena kekuatan dan elongasi nya tinggi.

### **Komposit berbasis Tekstil Serat Alam**

Tekstil komposit dengan bahan penguat terdiri dari berbagai bahan penguat dalam bentuk preform tekstil yang dapat dibentuk oleh bahan bukan tenunan, anyaman atau rajutan. Untuk memilih teknologi optimal untuk menyiapkan preform tekstil, perlu dipertimbangkan kekuatan dan kelemahan masing-masing teknologi. Metode yang berbeda digunakan untuk memperoleh struktur komposit: menanamkan bahan penguat (anyaman tekstil) ke dalam matriks, yang dapat berupa zat makromolekul atau larutan koloid atau suspensi dengan sifat koagulasi; konsolidasi bahan dasar dengan cara memanaskan (curing) lapisan, menghasilkan laminasi.

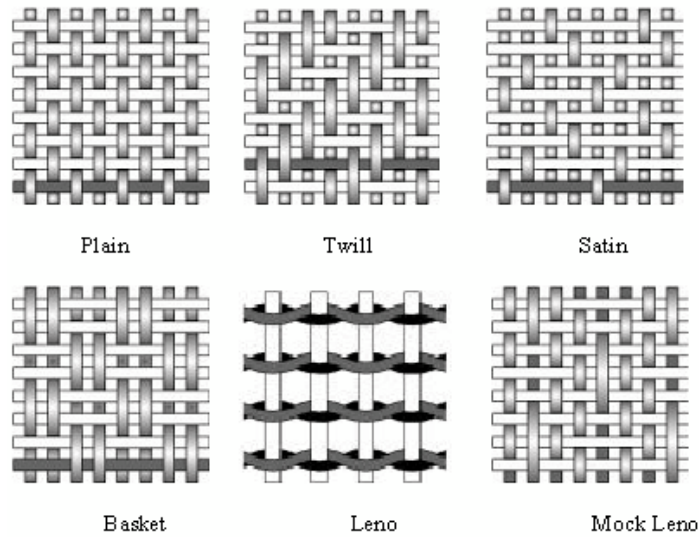
Studi tentang beberapa teknologi telah mengungkapkan bahwa tekstil dapat diterapkan pada skala industri untuk keuntungan ekonomi, kinerja dan kesederhanaan desain [68]. Serat tekstil adalah bahan baku dasar industri tekstil tetapi, pada saat yang sama, serat juga merupakan bahan penting bagi banyak bidang industri lainnya. Secara praktis, semua jenis serat, termasuk serat yang diperoleh dari bahan yang dapat digunakan kembali, dapat digunakan sebagai bahan awal untuk tekstil teknis [69]. Bahan tekstil yang dapat digunakan kembali, juga dikenal sebagai limbah tekstil, terutama berasal dari pemrosesan tekstil (pemintalan, pertenenan, perajutan dan sebagainya), fabrikasi, permesinan di sektor pengolahan tekstil lainnya atau sebagai hasil dari pemakaian fisik atau moral produk tekstil [69]. Kain struktural tenunan biasanya dibangun dengan tulangan penguat, untaian, atau benang yang saling bertautan pada diri mereka dengan penempatan di atas/di bawah selama proses tenun. Gaya kain yang lebih umum adalah tenunan polos, keeper atau satin. Tenunan polos adalah yang paling umum digunakan dengan hasil konstruksi anyaman antara arah memanjang (*warp*) dan arah melintang (*wef*) saling bergantian dari setiap serat bergantian.

Tekstil memiliki keunggulan rasio massa / kekuatan, mengurangi waktu untuk mencapai, menghilangkan limbah yang dihasilkan dari proses produksi dan pengolahan, kontrol yang lebih baik dari bentuk akhir produk dan kualitas unggul [69] Pada saat yang sama, bahan tekstil memungkinkan melakukan kontrol langsung terhadap karakteristik bahan dari tahap desain. Bahan tekstil juga dapat memiliki arsitektur tiga dimensi dan produksi beberapa alat kelengkapan paling kompleks menghilangkan tahap perantara preforms (dengan implikasi terhadap waktu dan biaya produksi) dan kemungkinan mengendalikan bentuk akhir dari tahap desain bahan [70,71].

Perkembangan dalam teknologi tekstil seperti menenun, merajut dan mengeping telah menghasilkan pembentukan komposit tekstil yang memiliki sifat mekanik yang unggul. Kain tenun menarik sebagai penguat karena tenunan memberikan integritas dan kesesuaian yang sangat baik untuk aplikasi struktural. Kekuatan pendorong untuk peningkatan penggunaan kain tenun dibandingkan dengan kain non-anyaman adalah kemampuan drapeabilitas yang sangat baik, pengurangan biaya produksi, dan peningkatan sifat mekanik, terutama kekuatan antar laminar atau antarmuka. Interkonektivitas antara serat yang berdekatan dalam penguat tekstil memberikan kekuatan antarmuka tambahan untuk melengkapi antarmuka serat-resin yang relatif lemah. Karakteristik non delaminasi komposit tiga dimensi dikepang di bawah dampak balistik juga membuat mereka memiliki potensi yang cukup besar dalam aplikasi perlindungan balistik [72]. Pembentukan preform tekstil yang berbeda merupakan tahap penting dalam teknologi komposit.

Pola tenunan seperti polos, twill, satin, keranjang, leno dan mock leno adalah beberapa pola tenunan yang biasa digunakan untuk tekstil yang digunakan sebagai penguat dalam membuat komposit. Karakteristik tenunan ditunjukkan pada Gambar 1 dan sifatnya masing-masing dirangkum dalam Tabel 3.

Komposit struktural tekstil ditemukan digunakan dalam berbagai aplikasi kinerja tinggi baru-baru ini [74]. Di antara mereka, komposit polimer tiga dimensi yang diperkuat serat yang dibuat oleh proses tekstil tenun, jalinan, menjahit dan rajutan ditemukan memiliki potensi luar biasa untuk meningkatkan kinerja struktur komposit dan mengurangi biaya pembuatannya. Aplikasi saat ini dari komposit tiga dimensi, termasuk contoh dalam Komposit Tekstil berdasarkan Aerospace Serat Alam, maritim, otomotif, infrastruktur sipil dan bidang biomedis juga disebutkan.



Gambar 1. Beberapa gaya tenunan khas digunakan sebagai penguat dalam membuat komposit [73]

Tabel 3. Perbandingan sifat kain dengan gaya anyaman yang berbeda [72]

Tenunan \ Sifat	Plain	Twill	Satin	Basket	Leno	Mock Leno
Stability	****	***	**	**	*****	***
Drape	**	****	*****	***	*	**
Porosity	***	****	*****	**	*	***
Smoothness	**	***	*****	**	*	**
Balance	****	****	**	****	**	****
Symetrical	*****	***	*	***	*	****
Crimp	**	***	*****	**	**/*****	**

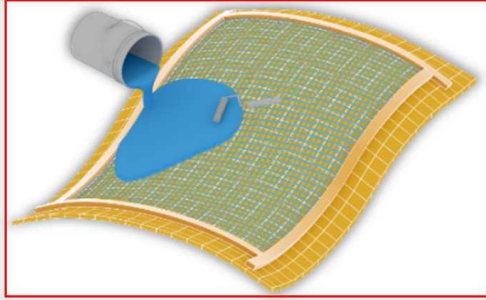
Note: \*\*\*\*\*=exellent, \*\*\*\*=good, \*\*\*=acceptable, \*\*=poor, \*=very poor

Tekstil disiapkan secara terpisah dan dimasukkan ke dalam matriks dengan salah satu metode berikut:

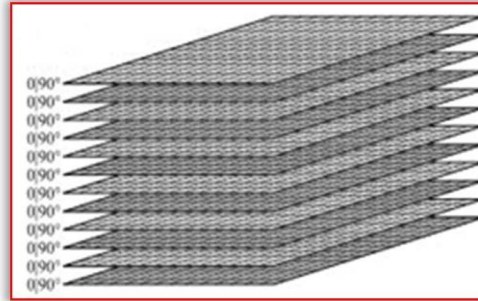
Proses *lay-up* sederhana. Ini adalah kasus matriks resin sintesis yang diterapkan dalam lapisan bolak-balik lapisan tekstil. Metode ini digunakan pada skala industri untuk pembuatan komposit serat. infiltrasi resin antar lapisan. Serat selaras dalam bentuk yang sesuai dengan bagian dan menyusup (di bawah vakum atau di bawah tekanan gas inert) bahan matriks dalam keadaan cair.

Sebagai contoh yang dilakukan oleh Todor, et al, (2018) [75], Pelat komposit resin flax, serat jute dan serat hemp dibuat dengan geometri nominal lebar 150 mm dan panjang 150 mm. Sebagai metode untuk mendapatkan struktur komposit bertulang digunakan proses *lay-up* sederhana (Gambar 2), menggunakan beberapa lapisan kain tenun polos 0/90<sup>0</sup> (Gambar 3).





Gambar 2. Proses *lay-up* yang sederhana



Gambar 3. Lapisan kain tenunan polos 0/90°

## KESIMPULAN

Pada kajian ini, diperoleh informasi yang sangat berguna tentang tanaman serat yang mungkin sebagian besar dapat dikembangkan di Indonesia baik itu sebagai bahan baku tekstil, komposit maupun industry. Beberapa peneliti menyimpulkan bahwa komposit berbasis serat alami merupakan material masa depan, karena sifat-sifatnya yang melekat seperti biodegradabilitas, keterbaruan dan ketersediaannya yang melimpah, mudah dalam pengolahan serta murah. Dari beberapa serat alami terdapat penggolongan serat alami, yaitu serat biji (cotton dan kapok), serat batang (jute, flax, rami, kenaf), dan serat daun (sisal dan abaca). Dapat disimpulkan bahwa serat alami, hampir semuanya dapat digunakan sebagai bahan baku komposit yang ramah lingkungan karena sifat seratnya biodegradable, penggunaan zat kimia yang rendah dalam proses serta produk komposit yang biodegradable. Untuk memperoleh hasil komposit serat alami dengan kualitas tinggi, maka sebaiknya serat alami ditenun (bentuk tekstil) untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, kerataan dan kestabilan. Sebagai matrix untuk pembuatan komposit dapat digunakan resin seperti polipropilene, polyester, polietilen dan lain-lain.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pusat Teknologi Material, BPPT atas izinnya menyelesaikan kajian ini. Terima kasih juga kepada teman-teman perekayasa yang telah memberikan kontribusi baik ide maupun pemikirannya sehingga tulisan ini terwujud.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. Mochane, T. C. Mokhena, T. H. Mokhothu, A. Mtibe, E. R. Sadiku, S. S. Ray, I. D. Ibrahim, O. O. Daramola. *Recent progress on natural fiber hybrid composites for advanced applications: A review*. eXPRESS Polymer Letter Vol.13, No.2, 159-198 (2019). <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2019.15>
- [2] Kiruthika A.: *A review on physico-mechanical properties of bast fibre reinforced polymer composites*. Journal of Building Engineering, 9, 91–99 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.12.003>
- [3] Ahmad F., Choi H. S., Park M. K.: *A review: Natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties*. Macromolecular Materials and Engineering, 300, 10–24 (2015). <https://doi.org/10.1002/mame.201400089>
- [4] Saba N., Paridah M. T., Abdan K., Ibrahim N. A.: *Dynamic mechanical properties of oil palm nano filler/ kenaf/epoxy hybrid nanocomposites*. Construction and Building Materials, 124, 133–138 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.059>
- [5] Gurunathan T., Mohanty S., Nayak S. K.: *A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 77, 1–25 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>
- [6] Pickering K. L., Efendy M. G. A., Le T. M.: *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 83, 98–112 (2016).

- <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- [7] Khan, M. A., Hassan, M. M., and Drzal, L. T. *Effect of 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) on the mechanical and thermal properties of jute- polycarbonate composite*. *Compos. Part A Appl. Sci. Manufact.* 36, 71–81 (2005). doi: 10.1016/S1359-835X(04)00178-2
- [8] Borba, P. M., Tedesco, A., and Lenz, D. M. *Effect of reinforcement nanoparticles addition on mechanical properties of SBS/curauá fiber composites*. *Mater. Res.* 17, 412–419 (2013). doi: 10.1590/S1516-14392013005000203
- [9] Biswas, S., Shahinur, S., Hasan, M., and Ahsan, Q. *Physical, mechanical and thermal properties of jute and bamboo fiber reinforced unidirectional epoxy composites*. *Proc. Eng.* 105, 933–939 (2015). doi: 10.1016/j.proeng.2015.05.118
- [10] Dixit, S., Goel, R., Dubey, A., Shivhare, P. R., and Bhalavi, T. *Natural fibre reinforced polymer composite materials - A review*. *Polym. Renew. Resour.* 8, 71–78 (2017). doi: 10.1177/204124791700800203
- [11] Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., and Le, T. M. *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance*. *Compos. Part A. Appl. Sci. Manuf.* 83, 98–112 (2016). doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.038
- [12] Arpitha, G. R., and Yogesha, B. *Science direct an overview on mechanical property evaluation of natural fiber reinforced polymers*. *Mater. Today Proc.* 4, 2755–2760 (2017). doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.153
- [13] Abdellaoui, H., Raji, M., Essabir, H., Bouhfid, R., and el kacem Qaiss, A. *“Mechanical behavior of carbon/natural fiber-based hybrid composites,” in Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, eds M. Jawaid, M. Thariq, and N. Saba (Woodhead Publishing), 103-122 (2019). doi: 10.1016/B978-0-08-102292-4.00006-0
- [14] Asim, M., Saba, N., Jawaid, M., and Nasir, M. *“Potential of natural fiber/biomass filler-reinforced polymer composites in aerospace applications,” in Sustainable Composites for Aerospace Applications*, eds M. Jawaid and M. Thariq (Elsevier Ltd.), 253–268 (2018). doi: 10.1016/B978-0-08-102131-6.00012-8
- [15] Mochane, M. J., Mokhena, T. C., Mokhothu, T. H., Mtibe, A., Sadiku, E. R., Ray, S. S., et al. *Recent progress on natural fiber hybrid composites for advanced applications: a review*. *Express Polym. Lett.* 13, 159–198 (2019). doi: 10.3144/expresspolymlett.2019.15
- [16] Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., and Yogesha, B. *Study on mechanical properties of natural - glass fibre reinforced polymer hybrid composites : a review*. *Mater. Today Proc.* 2, 2959–2967 (2015). doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.264
- [17] Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Senthamaraikannan, P., Kathiresan, M., Saibalaji, M. A., and Yogesha, B. *The hybrid effect of jute/kenaf/e-glass woven fabric epoxy composites for medium load applications: impact, inter-laminar strength, and failure surface characterization*. *J. Nat. Fibers* 16, 600–612 (2019). doi: 10.1080/15440478.2018.1431828
- [18] Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., and Yogesha, B. *Applications of natural fibers and its composites: an overview*. *Nat. Resour.* 7, 108–114 (2016). doi: 10.4236/nr.2016.73011
- [19] Boopalan, M., Niranjanaa, M., and Umopathy, M. J. *Study on the mechanical properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites*. *Compos. Part B Eng.* 51, 54–57 (2013). doi: 10.1016/j.compositesb.2013.02.033
- [20] Madhu, P., Sanjay, M. R., Senthamaraikannan, P., Pradeep, S., Siengchin, S., Jawaid, M., et al. *Effect of various chemical treatments of prosopis juliflora fibers as composite reinforcement: physicochemical, thermal, mechanical, and morphological properties*. *J. Nat. Fibers* 00, 1–12 (2018). doi: 10.1080/15440478.2018.1534191
- [21] Pandey, J. K., Ahn, S. H., Lee, C. S., Mohanty, A. K., and Misra, M. *Recent advances in the application of natural fiber based composites*. *Macro Mater. Eng.* 295, 975–989 (2010). doi: 10.1002/mame.201000095
- [22] Komuraiah, A., Kumar, N. S., and Prasad, B. D. *Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties*. *Mech. Compos. Mat.* 50, 359–376 (2014). doi: 10.1007/s11029-014-9422-2
- [23] Gurunathan, T., Mohanty, S., and Nayak, S. K. *A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives*. *Compos Part Appl. Sci. Manuf.* 77, 1–25 (2015). doi: 10.1016/j.compositesa.2015.06.007
- [24] Ian Fulton, Mohamad S. Qatu, Sheldon Shi and

- S. Lee, "Mechanical Properties of Kenafbased Natural Fiber Composites", ICCS 16, 1-6, 2011.
- [25] Mather R.R., Wardman R.H. *The Chemistry of Textile fibres*. Cambridge: RSC Publishing; 2011.
- [26] Mwaikambo L.Y. *Review of the history, properties and application of plant fibres*. African Journal of Science and Technology, Science and Engineering Series 2006; 7 120–133.
- [27] Blackburn R.S., editor. *Biodegradable and sustainable fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing Series in Textiles: 47, The Textile Institute; 2005.
- [28] Marques G., Rencoret J., Gutiérrez A., Río J C. del. *Evaluation of the Chemical Composition of Different Non-Woody Plant Fibers Used for Pulp and Paper Manufacturing*. The Open Agriculture Journal 2010; 4 93-101.
- [29] Caffall K.H., Mohnen D. *The Structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides.*; Carbohydrate Research 2009; 344 1879-1900. Cellulose 2008; 15 (1) 67-74.
- [30] Mather R.R., Wardman R.H. *The Chemistry of Textile fibres*. Cambridge: RSC Publishing; 2011.
- [31] Elmogahzy, Y., and Farag, R. "Tensile properties of cotton fibers: importance, research, and limitations", in Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres, ed A. R. Bunsell (Woodhead Publishing), 223-273 (2018). doi: 10.1016/B978-0-08-101272-7.00007-9.
- [32] Colombari, P., and Jauzein, V. "Silk: fibers, films, and composites-types, processing, structure, and mechanics," in Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres, ed A. R. Bunsell (Woodhead Publishing), 137-183 (2018). doi: 10.1016/B978-0-08-101272-7.00005-5.
- [33] Zou, Y., Reddy, N., and Yang, Y. *Reusing polyester/cotton blend fabrics for composites*. Compos. Part B Eng. 42, 763–770 (2011). doi: 10.1016/j.compositesb.2011.01.022.
- [34] Cheung, H., Ho, M., Lau, K., Cardona, F., and Hui, D. *Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications*. Compos. Part B Eng. 40, 655–663 (2009). doi: 10.1016/j.compositesb.2009.04.014.
- [35] Gupta, M. K., and Srivastava, R. K. *Mechanical properties of hybrid fibers-reinforced polymer composite: a review*. Polym. Plast. Technol. Eng. 55, 626–642 (2016). doi: 10.1080/03602559.2015.1098694.
- [36] Arumugam, V. *A preliminary investigation on Kapok/polypropylene nonwoven composites for sound absorption*. Ind. J. Fibre Text. Res. 37, 385–388 (2014). doi: 10.1016/B978-0-12-387736-9.00004-2.
- [37] Wang, H., Memon, H., Hassan, E. A. M., Miah, S., and Ali, A. *Effect of jute fiber modification on mechanical properties of jute fiber composite*. Materials (Basel) 12:E1226 (2019). doi: 10.3390/ma12081226.
- [38] Dong, T., Xu, G., and Wang, F. *Adsorption and adhesiveness of kapok fiber to different oils*. J. Hazard. Mater. 296, 101–111 (2015). doi: 10.1016/j.jhazmat.2015.03.040.
- [39] Das, S. *Mechanical properties of waste paper/jute fabric reinforced polyester resin matrix hybrid composites*. Carbohydr. Polym. 172, 60–67 (2017). doi: 10.1016/j.carbpol.2017.05.036.
- [40] Rahman, M. S. "Jute-a versatile natural fibre. Cultivation, extraction and processing," in Industrial Applications of Natural Fibres Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications, ed J. Müssig (Wiley), 135–161 (2010). doi: 10.1002/9780470660324.ch6.
- [41] Behera, A. K., Avancha, S., Basak, R. K., Sen, R., and Adhikari, B. *Fabrication and characterizations of biodegradable jute reinforced soy based green composites*. Carbohydr. Polym. 88, 329–335 (2012). doi: 10.1016/j.carbpol.2011.12.023.
- [42] Bourmaud, A., Siniscalco, D., Foucat, L., Goudenhooff, C., Falourd, X., Pontoire, B., et al. *Evolution of flax cell wall ultrastructure and mechanical properties during the retting step*. Carbohydr. Polym. 206, 48–56 (2019). doi: 10.1016/j.carbpol.2018.10.065.
- [43] Angelini, L. G., and Tavarini, S. *Ramie [Boehmeria nivea (L.) Gaud.] as a potential new fibre crop for the Mediterranean region: growth, crop yield and fibre quality in a long-term field experiment in Central Italy*. Ind. Crops Prod. 51, 138–144 (2013). doi: 10.1016/j.indcrop.2013.09.009
- [44] Martin, N., Mouret, N., Davies, P., and Baley, C. *Influence of the degree of retting of flax fibers on the tensile properties of single fibers and short fiber/polypropylene composites*. Ind. Crops Prod. 49, 755–767 (2013). doi: 10.1016/j.indcrop.2013.06.012
- [45] Réquillé, S., Le Duigou, A., Bourmaud, A., and Baley, C. *Peeling experiments*

- for hemp retting characterization targeting biocomposites. *Ind. Crops Prod.* 123, 573–580 (2018). doi: 10.1016/j.indcrop.2018.07.012.
- [46] Martin, N., Mouret, N., Davies, P., and Baley, C. *Influence of the degree of retting of flax fibers on the tensile properties of single fibers and short fiber/polypropylene composites.* *Ind. Crops Prod.* 49, 755–767 (2013). doi: 10.1016/j.indcrop.2013.06.012.
- [47] Raman Bharath, V. R., Vijaya Ramnath, B., and Manoharan, N. *Kenaf fibre reinforced composites: a review.* *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* 10, 5483–5485 (2015).
- [48] Rehman, M., Gang, D., Liu, Q., Chen, Y., Wang, B., Peng, D., et al. *Ramie, a multipurpose crop: potential applications, constraints and improvement strategies.* *Ind. Crops Prod.* 137, 300–307 (2019). doi: 10.1016/j.indcrop.2019.05.029.
- [49] Sen, T., and Jagannatha Reddy, H. N. *Various industrial applications of hemp, kenaf, flax and ramie natural fibres.* *Int. J. Innov. Manag. Technol.* 2. Sengupta, S., and Basu, G. (2016). Properties of coconut fiber. *Ref. Modul. Mater. Sci. Mater. Eng.* doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.04122-9.
- [50] Bunsell, A. R. (ed.) *“Introduction to the science of fibers,”* in *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres* (Woodhead Publishing), 1–20 (2018). doi: 10.1016/B978-0-08-101272-7.00001-8.
- [51] Hamidon, M. H., Sultan, M. T. H., Ariffin, A. H., and Shah, A. U. M. *Effects of fibre treatment on mechanical properties of kenaf fibre reinforced composites: a review.* *J. Mater. Res. Technol.* 8, 3327–3337 (2019). doi: 10.1016/j.jmrt.2019.04.012.
- [52] Saba, N., Paridah, M. T., and Jawaid, M. *Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: a review.* *Constr. Build. Mater.* 76, 87–96 (2015). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043.
- [53] Suharty, N. S., Ismail, H., Diharjo, K., Handayani, D. S., and Firdaus, M. *Effect of kenaf fiber as a reinforcement on the tensile, flexural strength and impact toughness properties of recycled polypropylene/halloysite composites.* *Proc. Chem.* 19, 253–258 (2016). doi: 10.1016/j.proche.2016.03.102.
- [54] Kipriotis, E., Heping, X., Vafeiadakis, T., Kiprioti, M., and Alexopoulou, E. *Ramie and kenaf as feed crops.* *Ind. Crops Prod.* 68, 126–130 (2015). doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.002.
- [55] Laftah, W. A., and Abdul Rahaman, W. A. W. *Chemical pulping of waste pineapple leaves fiber for kraft paper production.* *J. Mater. Res. Technol.* 4, 254–261 (2015). doi: 10.1016/j.jmrt.2014.12.006.
- [56] Reddy, N., and Yang, Y. *“Bacterial cellulose fibers,”* in *Innovative Biofibers from Renewable Resources* (Berlin; Heidelberg: Springer), 307-329 (2015). doi: 10.1007/978-3-662-45136-6\_61.
- [57] Naveen, J., Jawaid, M., Amuthakkannan, P., and Chandrasekar, M. *“Mechanical and physical properties of sisal and hybrid sisal fiber-reinforced polymer composites,”* in *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, eds M. Jawaid, M. Thariq, and N. Saba (Woodhead Publishing), 427-440 (2018). doi: 10.1016/B978-0-08-102292-4.00021-7.
- [58] Mihai, M. *Novel polylactide/triticale straw biocomposites : processing, formulation, and properties.* *Polym. Eng. Sci.* 54 (2013). doi: 10.1002/pen.23575.
- [59] Borba, P. M., Tedesco, A., and Lenz, D. M. *Effect of reinforcement nanoparticles addition on mechanical properties of SBS/curauá fiber composites.* *Mater. Res.* 17, 412–419 (2013). doi: 10.1590/S1516-14392013005 000203.
- [60] Zakikhani, P., Zahari, R., Sultan, M. T. H., and Majid, D. L. *Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites.* *Mater. Des.* 63, 820–828 (2014). doi: 10.1016/j.matdes.2014.06.058.
- [61] Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., and Yogesha, B. *Applications of natural fibers and its composites: an overview.* *Nat. Resour.* 7, 108–114 (2016). doi: 10.4236/nr.2016.73011.
- [62] Puttegowda, M., Rangappa, S. M., Jawaid, M., Shivanna, P., Basavegowda, Y., and Saba, N. *“Potential of natural/synthetic hybrid composites for aerospace, in applications,”* in *Sustainable Composites for Aerospace Applications*, eds M. Jawaid and M. Thariq (Woodhead Publishing), 315-351 (2018). doi: 10.1016/B978-0-08-102131-6.00021-9.
- [63] Akin, D. E. *“Chemistry of plant fibres,”* in *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, ed J. Müssing (West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.), 13–22 (2010).
- [64] Islam M. R., Beg M. D., Gupta A.: *Characterization of laccase-treated kenaf fibre reinforced recycled polypropylene composites.* *BioResources.* 8, 3753–3770 (2013).

- [65] Edhirej A., Sapuan S. M., Jawaid M., Zahari N. I.: *Cassava/sugar palm fiber reinforced cassava starch hybrid composites: Physical, thermal and structural properties*. International Journal of Biological Macromolecules, 101, 75–83 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.045>.
- [66] Maslinda A. B., Majid M. S. A., Ridzuan M. J. M., Afendi M., Gibson A. G.: *Effect of water absorption on the mechanical properties of hybrid interwoven cellulosic-cellulosic fibre reinforced epoxy composites*. Composite Structures, 167, 227–237 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.02.023>.
- [67] Fragassa C., Pavlovic A., Santulli C.: *Mechanical and impact characterisation of flax and basalt fibre vinyl-ester composites and their hybrids*. Composites Part B: Engineering, 137, 247–259 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.004>.
- [68] Todor MP, Bulei C and Kiss I. *Inducing the Biodegradability of Polymeric Composite Materials using Bioranforts*, Applied Engineering Letters 2(2) 84-90 (2017).
- [69] Todor MP, Bulei C, Heput T and Kiss I. *Researches on the Development of New Composite Materials Complete/Partially Biodegradable using Natural Textile Fibers of New Vegetable Origin and Those Recovered from Textile Waste*, IOP Conference Series: Materials Science & Engineering 294 012021 (2018).
- [70] Pickering K L, Aruan Efendy M G and Le T M. *A Review of Recent Developments in Natural Fiber Composites and Their Mechanical Performance*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 83 98-112 (2016).
- [71] Cheung H, Ho M, Lau K, Cardona F and Hui D. *Natural Fiber-Reinforced Composites for Bioengineering and Environmental Engineering Applications*, Composites Part B 40 655-663 (2009).
- [72] B. Gu and X. Ding. *A Refined Quasi-microstructure Model for Finite Element Analysis of Three-dimensional Braided Composites Under Ballistic Penetration*, Journal of Composite Materials, 39, pp. 685-710 (2005).
- [73] Yan Li, M. S. Sreekala dan Maya JACOB. *Textile Composites Based On Natural Fibers*. Chapter 8, 202-243.
- [74] S. K. Pandita, D. Falconet and I. Verpoest. *Impact properties of weft knitted fabric reinforced composites*, Composites Science and Technology, 62, pp.1113-1123 (2002).
- [75] M P Todor, C Bulei and I Kiss. *Composite materials manufacturing using textile inserts with natural origins fibres*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 393 (2018) 012088 doi:10.1088/1757-899X/393/1/012088.