

# Analisis Variasi Fraksi Volume Serat Pelepah Nipah Sebagai Material *Filler* pada Komposit Papan Partikel Semen Serat Pelepah Nipah-Cangkang Kerang Kepah

Mirza Pramudia<sup>1\*</sup>, Mahrus Khoirul Umami<sup>2</sup>, Maga Herdinan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Trunojoyo Madura  
Jl. Raya Telang PO. Box 02, Kamal, Madura, Indonesia  
\*Corresponding author : [pramudiamirza@trunojoyo.ac.id](mailto:pramudiamirza@trunojoyo.ac.id)

## Abstract

Cement-bonded particle board is a composite material composed of a combination of lignocellulosic particles and Portland cement as a binding agent. In this study, lignocellulosic particles in the form of nipa palm frond fibers were used as reinforcement, while clam shell powder was utilized as a filler material. Portland cement acts as the matrix, which enhances the mechanical strength and environmental resistance of the particle board. This research aims to investigate the effect of adding different volume fractions of nipa palm frond fibers on the physical and mechanical properties of cement-based particleboards reinforced with nipa palm frond fibers and clam shell powder. The volume fractions of nipa palm frond fibers used in this study were 30 wt%, 40 wt%, and 50 wt%, while the clam shell powder content was kept constant at 20 wt%. Cement particle board specimens were fabricated using a compression molding method with an applied pressing load of 3 tons. Physical properties, including density, moisture content, and water absorption, as well as mechanical properties in terms of flexural strength (modulus of rupture) were evaluated. The results indicate that increasing the volume fraction of nipa palm frond fibers leads to a decrease in density and flexural strength, accompanied by an increase in moisture content and water absorption. The density values of the particleboards meet the requirements of ISO 8335 and JIS A 5417 standards but do not satisfy SNI 03-105-2006. The moisture content values comply with the requirements of ISO 8335, JIS A 5417, and SNI 03-105-2006. The flexural strength of specimens with a fiber volume fraction of 30 wt% meets all applicable standards, whereas those with fiber volume fractions of 40 wt% and 50 wt% only meet the requirements of JIS A 5417.

**Keyword:** *Cement-bonded particle board, volume fraction of nipa frond fibers, cockle shell, compression molding.*

## Abstrak

Papan partikel semen merupakan material komposit yang tersusun dari kombinasi partikel lignoselulosa dan semen Portland sebagai bahan pengikat. Pada penelitian ini, partikel lignoselulosa berupa serat pelepah nipah digunakan sebagai penguat, sedangkan serbuk cangkang kerang kepah dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*). Semen Portland berperan sebagai matriks yang berfungsi meningkatkan kekuatan mekanik serta ketahanan papan partikel terhadap faktor lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan fraksi volume serat pelepah nipah terhadap sifat fisik dan mekanik papan partikel berbasis semen yang diperkuat serat pelepah nipah dan serbuk cangkang kerang kepah. Variasi fraksi volume serat pelepah nipah yang digunakan yaitu 30% wt, 40% wt, dan 50% wt, dengan komposisi serbuk cangkang kerang kepah tetap sebesar 20% wt. Spesimen papan partikel semen dibuat menggunakan metode *compression molding* dengan beban penekanan sebesar 3 ton, kemudian dilakukan pengujian sifat fisik meliputi densitas, kadar air, dan daya serap air, serta pengujian sifat mekanik berupa kekuatan lentur (*modulus of rupture*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat pelepah nipah menyebabkan penurunan densitas dan kekuatan lentur, serta peningkatan kadar air dan daya serap air. Nilai densitas papan partikel memenuhi standar ISO 8335 dan JIS A 5417, namun belum memenuhi SNI 03-105-2006. Nilai kadar air memenuhi ketentuan ISO 8335, JIS A 5417, dan SNI 03-105-2006. Kekuatan lentur pada fraksi volume serat 30% wt memenuhi seluruh standar, sedangkan pada fraksi 40% wt dan 50% wt hanya memenuhi standar JIS A 5417.

**Kata kunci:** *papan partikel semen, fraksi volume serat pelepah nipah, cangkang kerang kepah, compression molding*

## 1. Pendahuluan

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan konsumsi material dan

energi terbesar, sekaligus penyumbang emisi karbon yang signifikan. Kondisi ini mendorong meningkatnya tuntutan terhadap pengembangan material bangunan yang

tidak hanya memiliki kinerja mekanik dan durabilitas tinggi, tetapi juga ramah lingkungan, berkelanjutan, dan efisien dalam penggunaan sumber daya [1,2]. Material bangunan modern dituntut mampu memenuhi beberapa aspek keselamatan, meliputi ketahanan terhadap api dan kelembapan, ramah lingkungan dengan tujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui penggunaan sumber daya yang efisien, emisi yang rendah, serta dukungan terhadap pembangunan berkelanjutan tanpa mengorbankan kinerja dan keselamatan bangunan. [3-5]. Dalam konteks tersebut, papan partikel semen berkembang sebagai salah satu material alternatif yang potensial. Papan partikel semen memiliki keunggulan dibandingkan papan berbasis kayu atau polimer murni, antara lain ketahanan terhadap api serta resistensi terhadap air dan kelembapan. Sifat-sifat ini menjadikan papan partikel semen sesuai untuk aplikasi struktural dan non-struktural meliputi panel dinding, plafon, partisi, dan elemen bangunan lainnya [6-8].

Namun demikian, papan partikel semen konvensional masih menghadapi sejumlah keterbatasan, terutama densitas yang relatif tinggi yang berdampak pada peningkatan berat bangunan, serta tingginya konsumsi semen yang berkontribusi pada emisi karbon dan ketergantungan terhadap sumber daya mineral non-terbarukan [9,10]. Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut mendorong penelitian menuju pemanfaatan limbah dan biomassa lokal sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam papan partikel semen. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen, tetapi juga untuk memodifikasi struktur mikro dan sifat fisik-mekanik papan partikel. Penggunaan *filler* alternatif berpotensi memengaruhi densitas, porositas, daya serap air, serta kekuatan mekanik, sehingga perlu dikaji secara sistematis untuk mendapatkan komposisi yang optimal.

Di wilayah pesisir, khususnya Madura, terdapat potensi limbah dan biomassa yang melimpah namun belum

dimanfaatkan secara optimal, yakni cangkang kerang kepah dan pelepah nipah. Cangkang kerang kepah memiliki kandungan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang tinggi, mirip dengan batu kapur, yang membuatnya memiliki potensi besar sebagai material pengisi (*filler*) dalam pengembangan berbagai jenis material bangunan berbasis semen. Kalsium karbonat dalam cangkang kerang dapat meningkatkan kekuatan tekan dan durabilitas komposit, serta memberikan stabilitas dimensional terhadap perubahan suhu dan kelembapan [11,12].

Potensi biomassa berikutnya yang belum dimanfaatkan secara optimal yakni tanaman nipah (*Nypa fruticans*). Tanaman ini tumbuh subur di daerah mangrove dan rawa-rawa air payau yang banyak dijumpai di sepanjang pesisir pantai, termasuk di wilayah Madura. Selama ini, pemanfaatan tanaman nipah di masyarakat pesisir umumnya hanya terbatas pada produksi gula merah atau bahan atap tradisional, sementara bagian pelepahnya, khususnya yang sudah mengering, cenderung menjadi limbah yang tidak digunakan. Biomassa pelepah nipah memiliki potensi besar sebagai sumber serat alami yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan material ramah lingkungan, salah satunya sebagai bahan baku papan partikel semen. Serbuk pelepah nipah mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat menjadikan bahan tersebut sebagai bahan pengisi (*filler*) atau penguat (*reinforcement*) yang baik dalam komposit berbasis semen. Serat pohon nipah dan serbuk cangkang kerang kepah menawarkan potensi yang menjanjikan sebagai bahan penyusun komposit, khususnya dalam upaya pengembangan material berbasis sumber daya lokal yang ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan. Sinergi antara kedua material ini tidak hanya sejalan dengan konsep ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah hayati, tetapi juga membuka peluang pengembangan komposit fungsional dengan performa mekanik yang unggul dan nilai tambah tinggi [13-15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan fraksi volume serat pelepah nipah terhadap sifat fisik dan mekanik papan partikel semen serat pelepah nipah-serbuk cangkang kerang kepah

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Persiapan Spesimen

Proses pembuatan bubuk cangkang kerang kepah diawali dengan mencuci cangkang secara menyeluruh untuk menghilangkan kotoran, lumpur, dan sisa-sisa jaringan hewan yang masih menempel. Setelah bersih, cangkang dijemur di bawah sinar matahari langsung hingga kadar airnya berkurang secara signifikan serta bertujuan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme serta memudahkan proses penghancuran. Cangkang kering kerang selanjutnya digiling menggunakan alat penghancur untuk menghasilkan serbuk kasar. Bubuk hasil gilingan kemudian disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh agar diperoleh partikel dengan ukuran yang seragam sesuai kebutuhan. Sementara itu, proses pembuatan serbuk pohon nipah dimulai dengan merendam pelepah nipah pada air bersih selama 7 hari dengan tujuan untuk mempermudah pengambilan serat. Serat pelepah nipah yang sudah bersih dan dikeringkan kemudian direndam menggunakan larutan basa NaOH 5 % selama 2 jam lalu dibilas dengan *aquades* hingga bersih. Serat yang telah direndam kemudian dikeringkan dengan dijemur di bawah sinar matahari dan dilanjutkan dengan proses pemisahan dan penggilingan menggunakan mesin *hammer mill* hingga menjadi partikel berukuran serbuk kasar dan selanjutnya disaring dengan ukuran 60 mesh. Serbuk cangkang kerang dan serbuk pelepah nipah ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini :



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Serbuk cangkang kerang (b) Serat pelepah nipah dalam bentuk serbuk

Langkah awal dalam proses pembuatan sampel diawali dengan menentukan fraksi volume antara serbuk pelepah nipah dan serbuk cangkang kerang kepah berdasarkan tiga variasi komposisi, yaitu 30% : 20%, 40% : 20%, dan 50% : 20%. Komposisi tersebut kemudian dikombinasikan dengan bahan tambahan berupa 10% semen portland sebagai matriks pengikat, 5% kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) sebagai katalis, dan sisa volume diisi dengan air untuk membantu proses pencampuran dan hidrasi semen. Seluruh bahan dicampur secara merata hingga homogen sebelum dicetak dan diproses lebih lanjut sesuai prosedur pembentukan papan komposit. Serat dan partikel yang telah dicampur kemudian dimasukkan ke dalam cetakan besi berukuran  $20 \times 50 \times 10$  mm.



Gambar 2. Spesimen papan partikel semen

Proses pencetakan dilakukan menggunakan mesin press dengan pembebanan sebesar tiga ton selama sepuluh menit. Setelah proses pengepresan selesai, papan komposit yang terbentuk diberi perlakuan *curing* selama 7 hari sebelum dilakukan pengujian.

## 2.2. Pengujian Densitas

Pengujian densitas merupakan salah satu metode untuk mengetahui tingkat kerapatan massa suatu material terhadap volume spesimen papan partikel semen. Dimensi spesimen yang digunakan untuk pengujian densitas yakni 10 cm x 10 cm x 1 cm. Nilai kerapatan spesimen dihitung menggunakan persamaan [16]:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

$m$  = massa spesimen papan partikel semen (gr)

$V$  = Volume spesimen papan partikel semen (cm<sup>3</sup>)

## 2.3. Pengujian Kadar Air

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kandungan kadar air pada setiap sampel papan partikel semen. Dimensi spesimen yang digunakan untuk pengujian kadar air yakni 10 cm x 10 cm x 1 cm. Persamaan dalam menghitung nilai kadar air adalah [16]:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Keterangan :

$m_0$  = massa awal spesimen (gr)

$m_1$  = massa akhir spesimen (gr)

## 2.4. Pengujian absorpsi air

**Pengujian absorpsi air** bertujuan untuk mengetahui sejauh mana papan partikel semen menyerap air ketika direndam dalam waktu tertentu. Dimensi spesimen yang digunakan untuk pengujian absorpsi air yakni 5 cm x 5 cm x 1 cm. Perhitungan absorpsi air mengikuti persamaan [16]:

$$\text{Absorpsi air (\%)} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Keterangan :

$m_0$  = massa awal spesimen sebelum perendaman (gr)

$m_1$  = massa akhir spesimen setelah perendaman (gr)

## 2.5. Modulus of Rupture

*Modulus of rupture* merupakan ukuran kekuatan lentur maksimum suatu material sebelum patah. Parameter ini digunakan untuk menilai seberapa kuat kemampuan papan partikel semen menahan beban lentur. Dimensi spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah 20 cm x 5 cm x 1 cm. Persamaan yang digunakan untuk menentukan *modulus of rupture* adalah [16]:

$$MoR = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Dengan :

$MoR$  = *Modulus of Rupture* (kgf/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Besar beban maksimum (kgf)

$l$  = Jarak sangga (mm)

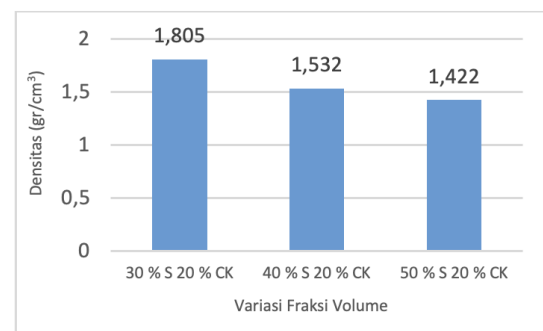
$b$  = Lebar spesimen uji (mm)

$h$  = Tebal spesimen uji (mm)

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil Uji Densitas

Hasil pengujian densitas spesimen papan partikel semen ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini :



Gambar 3. Hasil uji densitas

Keterangan :

S = Serat pelepah nipah

CK = Cangkang kerang

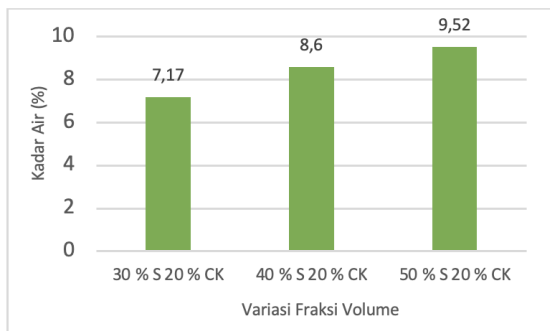
Hasil pengujian densitas spesimen papan partikel semen menunjukkan semakin besar fraksi volume serat pelepah nipah, akan menyebabkan penurunan nilai densitas spesimen. Nilai densitas rata-rata spesimen papan partikel semen dengan komposisi 30 % S : 20 % CK, 40 % S : 20 % CK, dan 50 % S : 20 % CK berturut-turut adalah 1,805 g/cm<sup>3</sup>, 1,532 g/cm<sup>3</sup>, serta 1,422 g/cm<sup>3</sup>. Nilai

densitas keseluruhan spesimen tersebut memenuhi persyaratan papan partikel semen sesuai standar ISO 8335-1987 yaitu sebesar  $> 1 \text{ g/cm}^3$  dan JIS A 5417- 1992 yaitu sebesar  $> 0,8 \text{ g/cm}^3$  namun tidak memenuhi standar SNI 03-2105-2006 yang mensyaratkan  $0,4 - 0,9 \text{ g/cm}^3$ .

Berdasarkan nilai kerapatan yang diperoleh dapat dilihat bahwa semakin tinggi fraksi volume serat pelepah nipah, maka akan menyebabkan semakin rendah fraksi volume semen Portland yang digunakan sehingga nilai kerapatan spesimen yang dihasilkan akan semakin rendah pula. Berat papan partikel semen semakin menurun dengan semakin sedikitnya semen yang digunakan sehingga kerapatan papan semen yang dihasilkan akan mengalami penurunan. Semakin rendah kadar semen yang digunakan akan menyebabkan ikatan antara partikel dengan semen dalam papan akan semakin renggang, keadaan ini akan mengakibatkan kerapatan papan semen yang dihasilkan akan semakin berkurang [16-20].

### 3.2. Hasil Uji Kadar Air

Berdasarkan hasil uji kadar air spesimen dengan komposisi variasi serat pelepah nipah dan cangkang kerang kepah didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil uji kadar air

Keterangan :

S = Serat pelepah nipah

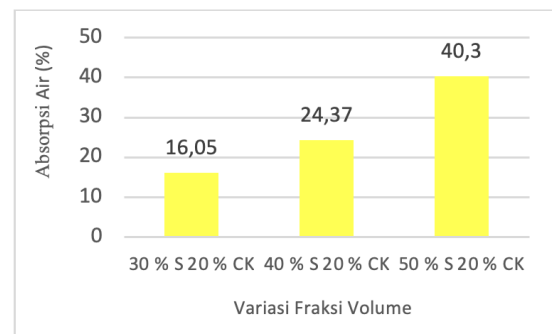
CK = Cangkang kerang

Gambar 4. menunjukkan bahwa nilai kadar air paling tinggi dari papan partikel semen terletak pada sampel dengan komposisi serat 50% dan cangkang kerang 10% sedangkan kadar air paling rendah terletak pada sampel serat 30% dan

cangkang kerang 20%. Kadar air berkurang dengan berkurangnya kandungan serat pada papan komposit, hal ini disebabkan oleh kadar air dalam serat. Semakin banyak serat yang dipakai, maka semakin tinggi nilai kadar airnya. Serat alam mengandung komponen utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang bersifat higroskopis, sehingga dapat menyerap dan mengikat molekul air dari sekitarnya. Oleh karena itu, semakin tinggi jumlah serat yang dicampurkan, semakin besar pula kapasitas papan dalam menyerap dan menahan air [16-20]. Data tersebut menunjukkan bahwa nilai kadar air seluruh sampel papan partikel telah memenuhi ketiga standar papan partikel semen yakni berdasarkan standar ISO (6-12 %), JIS A 5417 ( $<16\%$ ), dan SNI 03-2105-2006 ( $<16\%$ ).

### 3.3. Hasil Uji Absorpsi Air

Pengujian absorpsi air menunjukkan hasil sebagai berikut :

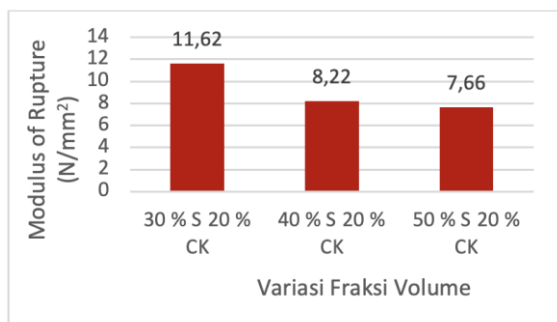


Gambar 5. Hasil uji absorpsi air

Data pengujian absorpsi air menunjukkan semakin tinggi fraksi volume serat, semakin tinggi pula nilai absorpsi air papan partikel semen. Penambahan fraksi volume serat yang tinggi dapat meningkatkan jumlah rongga atau pori dalam struktur papan partikel semen. Porositas ini mempermudah penetrasi air sehingga daya serap air bertambah [21].

### 3.4. Hasil Uji Keteguhan Patah (MoR)

Spesimen papan partikel semen dilakukan pengujian *three point bending* untuk mengetahui kemampuan spesimen dalam menahan beban hingga terjadi kerusakan atau patah. Data pengujian ditunjukkan pada Gambar 6. Berikut ini :



Gambar 6. Hasil uji *modulus of rupture* (MOR)

Hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi serbuk serat nipah yang digunakan, maka akan semakin rendah nilai keteguhan patah spesimen papan partikel semen. Komposisi fraksi serat yang semakin besar akan berdampak pada sebagian serat tidak terlapisi dengan baik oleh pasta semen Portland yang digunakan sebagai matriks. Hal ini akan melemahkan kekuatan ikatan di daerah antarmuka dan mengakibatkan nilai keteguhan patah atau kekuatan lentur (MOR) papan partikel semen menjadi lebih rendah [16-20]. Data nilai MoR spesimen dengan komposisi 30% serat pelepah nipah 20 % serbuk cangkang kerang kepah telah memenuhi standar yang dipersyaratkan berdasarkan standar ISO ( $> 9 \text{ N/mm}^2$ ), JIS A 5417 ( $> 6,2 \text{ N/mm}^2$ ), dan SNI 03-2105-2006 ( $> 8,04 \text{ N/mm}^2$ ), sedangkan spesimen dengan komposisi 40% serat pelepah nipah 20 % serbuk cangkang kerang telah memenuhi persyaratan teknis dari standar JIS A 5417 ( $> 6,2 \text{ N/mm}^2$ ), namun tidak memenuhi ISO ( $> 9 \text{ N/mm}^2$ ) dan standar SNI 03-2105-2006 ( $> 8,04 \text{ N/mm}^2$ ), sedangkan spesimen dengan komposisi 50% serat pelepah nipah 20 % serbuk cangkang kerang tidak memenuhi persyaratan teknik dari ketiga standar tersebut.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya penambahan fraksi volume serat pelepah nipah mampu memengaruhi karakteristik fisik dan mekanik material papan partikel semen serat pelepah nipah-cangkang kerang kepah. Penambahan fraksi volume serat pelepah nipah mampu

menurunkan nilai densitas, meningkatkan nilai kadar air dan daya absorpsi air, serta menurunkan nilai keteguhan patah (MoR) spesimen. Data menunjukkan spesimen dengan komposisi 30 % S : 20 % CK memiliki karakteristik dalam hal densitas (sesuai standar ISO 8335-1987 dan JIS A 5417- 1992), kadar air (sesuai standar ISO 8335-1987, JIS A 5417- 1992, dan SNI 03-2105-2006), keteguhan patah (sesuai standar ISO 8335-1987, JIS A 5417- 1992, dan SNI 03-2105-2006). Spesimen papan partikel semen dengan komposisi 40 % S : 20 % CK memiliki spesifikasi densitas (sesuai standar ISO 8335-1987 dan JIS A 5417- 1992), kadar air (sesuai standar ISO 8335-1987, JIS A 5417- 1992, dan SNI 03-2105-2006), dan keteguhan patah (sesuai standar ISO 8335-1987, JIS A 5417- 1992, dan SNI 03-2105-2006), sedangkan papan partikel semen dengan komposisi 50 % S : 20 % CK memiliki spesifikasi teknis densitas (sesuai standar ISO 8335-1987 dan JIS A 5417-1992), kadar air (sesuai standar ISO 8335-1987, JIS A 5417- 1992, dan SNI 03-2105-2006), serta keteguhan patah tidak memenuhi persyaratan sesuai standar yang telah ditentukan ISO 8335-1987, JIS A 5417- 1992, dan SNI 03-2105-2006.

#### Referensi

- [1] Guo S, Zheng S, Hu Y, Hong J, Wu X, Tang M. Embodied energy use in the global construction industry. *Applied Energy*. 2019 Dec 15;256:113838.
- [2] Abera YA. Sustainable building materials: A comprehensive study on eco-friendly alternatives for construction. *Composites and Advanced Materials*. 2024 May 16;33:26349833241255957.
- [3] Kodur V, Kumar P, Rafi MM. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU research review*. 2020 Apr 27;4(1):1-23.
- [4] Nowotna A, Pietruszka B, Lisowski P. Eco-friendly building materials. *InIOP Conference Series: Earth and*

- Environmental Science 2019 Jun 1 (Vol. 290, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- [5] Almusaed A, Yitmen I, Myhren JA, Almssad A. Assessing the impact of recycled building materials on environmental sustainability and energy efficiency: a comprehensive framework for reducing greenhouse gas emissions. *Buildings*. 2024 May 28;14(6):1566.
- [6] Prakusya H, Wicaksono ST, Purbawanto Hidayat MI. Pengaruh Komposisi Filler Limbah Polypropylene dan Sekam Padi terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Semen Partikel. *Jurnal Teknik ITS*. 2019;8(2).
- [7] Davies IE, Davies OO. Agro-waste-cement particleboards: A review. *MAYFEB Journal of Environmental Science*. 2017 Jul 21;2.
- [8] Toader TP, Dico C. NON-STRUCTURAL WALLS-PARTITIONS AND CLOSING ELEMENTS-AND CEMENT BOARD CEILINGS. *Constructii*. 2020;21(1):47-53.
- [9] Chen L, Zhang Y, Labianca C, Wang L, Ruan S, Poon CS, Ok YS, Tsang DC. Carbon-negative cement-bonded biochar particleboards. *Biochar*. 2022 Dec;4(1):58
- [10] Hatami Shirkouh A, Meftahi F, Soliman A, Godbout S, Palacios J. Performance of Eco-Friendly Zero-Cement Particle Board under Harsh Environment. *Applied Sciences*. 2024 Apr 8;14(7):3118.
- [11] Simorangkir SP, Hamzah A, Saktisahdan TJ, Luwinsky E, Haliza N. Utilization of Kepah clam shell in Batu Bara waste as a partial cement replacement in the production of porous concrete. *Journal of Ecological Engineering*. 2025 Jul 1;26(7).
- [12] Yang G, Heo YJ, Park SJ. Effect of morphology of calcium carbonate on toughness behavior and thermal stability of epoxy-based composites. *Processes*. 2019 Mar 27;7(4):178.
- [13] Termizi MN, Rasidi MS, Nasib AM, Zainuddin F, Masa AH. Polylactic Acid (PLA)/Cellulose Hybrid Biocomposite: The Utilization of Nypa Frutican on Enhancing Mechanical Properties of PLA. *Key Engineering Materials*. 2024 Dec 16;997:25-34.
- [14] Rasidi MS, Teh PL. Chemical Modification of Nypa fruticans Fiber as Filler on the Mechanical and Thermal Properties of PLA/rLDPE Biocomposites. *InBiofiller-Reinforced Biodegradable Polymer Composites* 2020 Oct 27 (pp. 119-132). CRC Press.
- [15] Hasan A, Rabbi MS, Billah MM, Hasib MA. Effect of chemical treatments on properties of injection molded Nypa fruticans fiber reinforced polypropylene composite. *Heliyon*. 2022 Dec 1;8(12).
- [16] Odeyemi SO, Abdulwahab R, Adeniyi AG, Atoyebi OD. Physical and mechanical properties of cement-bonded particle board produced from African balsam tree (*Populus Balsamifera*) and periwinkle shell residues. *Results in Engineering*. 2020 Jun 1;6:100126.
- [17] Ranjan M, Kushwaha PK, Nandanwar A, Upadhyay VK. Development of bamboo reinforced cement bonded particle board. *Advances in Bamboo Science*. 2024 Aug 1;8:100095.
- [18] Prakusya H, Wicaksono ST, Purbawanto Hidayat MI. Pengaruh Komposisi Filler Limbah Polypropylene dan Sekam Padi terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Semen Partikel. *Jurnal Teknik ITS*. 2019;8(2).
- [19] Ohijeagbon IO, Bello-Ochende MU, Adeleke AA, Ikubanni PP, Samuel AA, Lasode OA, Atoyebi OD.

- Physico-mechanical properties of cement bonded ceiling board developed from teak and African locust bean tree wood residue. *Materials Today: Proceedings*. 2021 Jan 1;44:2865-73.
- [20] Mayer AK, Kuqo A, Koddenberg T, Mai C. Seagrass-and wood-based cement boards: A comparative study in terms of physico-mechanical and structural properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2022 May 1;156:106864.
- [21] Ohijeagbon, IO, Adeleke, AA, Mustapha, VT, Olorunmaie, JA, Okokpujie, IP dan Ikubanni, PP 2020, „Development and Characterization of Wood Polypropylene Plastic Cement Composite Board“, *Case Studies in Construction Materials*, pp. 1-8.