

PENGUNAAN SERAT BAMBU UNTUK PEMBUATAN PAPAN SEMEN SERAT

¹Haven Sumarauw, ²Jeffrey A. Delarue, ³Nicky W. Rampengan
Pendidikan Teknik Bangunan/Teknik Sipil, Universitas Negeri Manado
Email: havensumarauw18@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa papan semen-serat yang diperkuat serat bambu dengan penambahan kapur sebagai bahan adiktif. Kajian difokuskan pada perubahan sifat mekanik (kuat lentur) dan sifat fisik (densitas serta kualitas visual) akibat variasi kadar serat, rasio serat–semen, dan panjang serat. Penelitian dilaksanakan melalui eksperimen laboratorium menggunakan metode pencampuran manual, pemadatan hidrolik, dan curing 28 hari. Sampel diuji menggunakan standar SNI 03-2104-1991 dan ASTM C1185. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi serat bambu 11–15% dengan tambahan kapur 3–10% menghasilkan papan dengan densitas lebih stabil dan kuat lentur tertinggi. Sampel terbaik, yaitu komposisi I (11,8% serat dan 3,9% kapur), mencapai kuat lentur 8,26 MPa dan densitas 1,70 g/cm³. Temuan ini menunjukkan adanya kadar serat optimum; peningkatan serat lebih dari 20% justru menyebabkan naiknya porositas, penurunan kerapatan, dan melemahnya kekuatan lentur. Secara keseluruhan, penelitian ini memperlihatkan bahwa serat bambu lokal berpotensi besar sebagai penguat papan semen ramah lingkungan.

Kata kunci: papan semen serat, serat bambu, kapur, kuat lentur, densitas

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of cement boards reinforced with bamboo fibers and lime additives. The research focuses on the changes in mechanical properties (flexural strength) and physical properties (density and visual quality) caused by variations in fiber content, fiber–cement ratio, and fiber length. The experiment was conducted through laboratory testing involving manual mixing, hydraulic pressing, and 28-day curing. Samples were tested according to SNI 03-2104-1991 and ASTM C1185 standards. The results indicate that bamboo fiber content of 11–15% combined with 3–10% lime produces the most stable density and highest flexural strength. The optimum sample, composition I (11.8% fiber and 3.9% lime), reached a flexural strength of 8.26 MPa and density of 1.70 g/cm³. The findings highlight an optimum fiber threshold; exceeding 20% fiber increases porosity, lowers density, and reduces flexural performance. Overall, this study demonstrates the strong potential of local bamboo fibers as an environmentally friendly reinforcement for cement board production.

Keywords: cement board, bamboo fiber, lime, flexural strength, density

PENDAHULUAN

Kebutuhan material bangunan yang kuat, terjangkau, dan ramah lingkungan mendorong berbagai inovasi dalam

pengembangan material komposit, termasuk papan semen-serat. Selama ini, penggunaan serat sintetis maupun serat kayu masih mendominasi produk komersial, namun kedua bahan tersebut memiliki keterbatasan,

seperti biaya tinggi, dampak lingkungan, dan ketergantungan terhadap sumber daya yang tidak terbarukan. Salah satu alternatif yang semakin banyak diperhatikan adalah serat bambu.

Bambu memiliki siklus tumbuh cepat, ketersediaan melimpah, serta kekuatan tarik yang kompetitif. Di wilayah Minahasa, beragam jenis bambu lokal menyediakan sumber daya potensial yang belum dimanfaatkan secara optimal untuk aplikasi komposit. Selain serat bambu, kapur juga kerap digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan ikatan, mengurangi pori, dan memperkuat struktur material berbasis semen.

Meskipun beberapa penelitian telah menyoroti penggunaan serat alami dalam komposit semen, kajian yang secara khusus mengevaluasi kombinasi serat bambu lokal dan kapur dalam pembuatan papan semenserat masih terbatas. Penelitian ini berupaya mengisi kekosongan tersebut dengan menguji bagaimana variasi kadar serat, panjang serat, dan rasio serat–semen memengaruhi kualitas fisik dan mekanik papan semen-serat.

Tujuan utama penelitian ini adalah: (1) menilai pengaruh penggunaan serat bambu terhadap kuat lentur dan densitas papan semen;

(2) mengevaluasi peran kapur sebagai aditif untuk meningkatkan kualitas ikatan; dan

(3) mengidentifikasi komposisi paling efektif untuk menghasilkan papan semenserat yang stabil, padat, dan berkinerja baik.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan rancangan

faktorial yang melibatkan variasi kadar serat, panjang serat, dan rasio serat–semen. Bahan utama yang digunakan adalah semen Portland, serat bambu betung yang telah mengalami perlakuan fisik, kapur, dan air. Variasi komposisi disesuaikan dengan semen 70-85%, serat 10–20% dan kapur 3–10%.

Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa jenis variabel untuk menganalisis pengaruh komposisi serat bambu dan kapur terhadap kualitas papan semen. Variabel-variabel tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang sengaja dimanipulasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat papan semen.

meliputi:

- Perlakuan serat: 10%, 15%, dan 20% terhadap total material.
- Rasio serat : semen (% berat)
- Panjang serat: 1cm, 1-2cm, 3-5cm

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang diamati dan diukur sebagai respons dari perubahan variabel bebas.

Dalam penelitian ini terdiri dari:

- Sifat mekanik: Kuat lentur (Modulus of Rupture/MOR).
- Sifat fisik: massa jenis (density), visual dan kekompakan.

3. Variabel Kontrol (Control Variables)

Variabel kontrol adalah variabel yang dijaga konstan untuk memastikan hasil penelitian hanya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

- Rasio air/semen: Tetap pada nilai yang telah ditentukan.
- Metode pencampuran: Prosedur pencampuran standar digunakan untuk semua sampel.
- Ukuran cetakan: Seragam untuk seluruh sampel (misal 15 cm × 28 cm).
- Kondisi curing: Suhu dan kelembaban dikontrol selama proses perawatan.

Tahapan penelitian

1. Persiapan Bahan

- Serat dipotong dalam tiga kategori panjang (≤ 1 cm, 1–2 cm, 3–5 cm).
- Serat direndam, dikeringkan, dan ditimbang sesuai berat komposisi.
- Semen dan kapur dicampur sebagai matriks utama.

2. Proses Pembuatan Papan

- Serat dan kapur dicampur hingga homogen.
- Semen dimasukkan dan diaduk merata.
- Campuran dimasukkan ke cetakan 15×28 cm.
- Dipres menggunakan mesin hidrolik.
- Curing dilakukan selama 28 hari dalam kondisi lembap.

3. Pengujian

- Kuat lentur (MOR): metode pembebanan tiga titik sesuai ASTM C1185.
- Densitas: massa kering dibagi volume benda uji.
- Visual: pengamatan retak, porositas, dan kerataan permukaan.

Teknik analisis data

Data hasil pengujian dianalisis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Menghitung rata-rata hasil uji dari setiap variasi campuran.
- Membandingkan nilai kuat lentur, dan densitas antar-variasi.
- Menentukan komposisi terbaik yang memenuhi standar SNI papan semen serat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kode	Semen (%)	Semen (g)	Serat (%)	Serat (g)	Kapur (%)	Kapur (g)
A	82.4	500	10.6	64	7.1	43
B	77.8	392	16.7	84	5.6	28
C	75	378	15	76	10	50
D	76	478	16	101	8	50
E	77.8	392	16.7	84	5.6	28
F	75	441	15	88	10	59
G	77.8	392	16.7	84	5.6	28
H	81.7	600	11.4	84	6.8	50
I	84.3	600	11.8	84	3.9	28
J	75.5	400	15.1	80	9.4	50
K	75.5	400	15.1	80	9.4	50
L	77.7	400	12.6	65	9.7	50
M1	69.8	300	18.6	80	11.6	50
N1	60.6	200	24.2	80	15.2	50
O1	43.5	100	34.8	80	21.7	50
M2	69.8	300	18.6	80	11.6	50
N2	60.6	200	24.2	80	15.2	50
O2	43.5	100	34.8	80	21.7	50
M3	69.8	300	18.6	80	11.6	50
N3	60.6	200	24.2	80	15.2	50
O3	43.5	100	34.8	80	21.7	50

Tabel 4.1 Komposisi Campuran Papan Semen-Serat

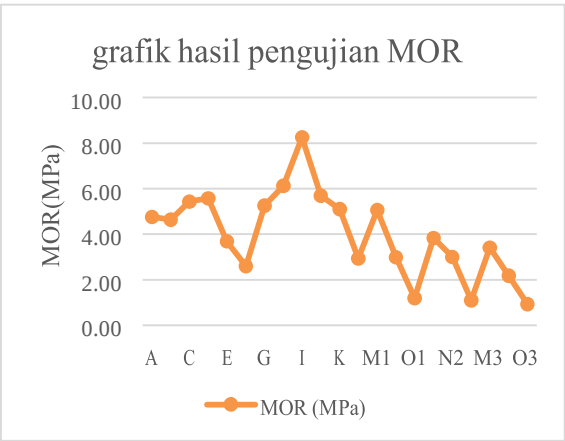
Data dianalisis secara deskriptif untuk melihat pola hubungan antara variabel bebas

dan respon mekanik–fisik papan semenserat.

1. Kuat Lentur (MOR)

Kode	MOR (MPa)
A	4.76
B	4.64
C	5.44
D	5.58
E	3.69
F	2.60
G	5.26
H	6.14
I	8.26
J	5.69
K	5.11
L	2.94
M1	5.06
N1	2.99
O1	1.20
M2	3.84
N2	3.00
O2	1.10
M3	3.42
N3	2.18
O3	0.93

Tabel 4.2 hasil pengujian MOR



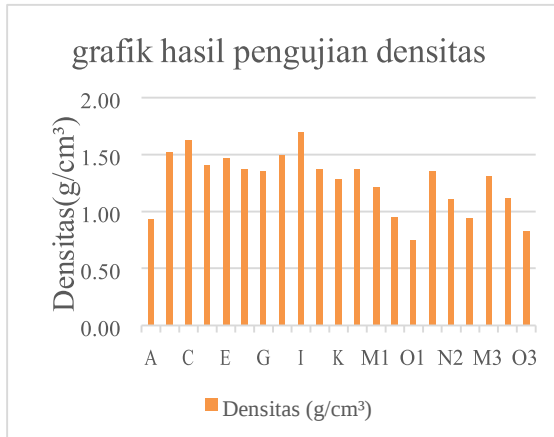
Gambar 4.1 grafik hasil pengujian MOR

Dari hasil pengujian terlihat bahwa nilai MOR tertinggi diperoleh pada sampel I dengan nilai 84,18 kgf/cm² atau 8,26 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada sampel U dengan 9,46 kgf/cm² atau 0,93 MPa.

Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kadar serat bambu 11,8% dan kapur 3,9% pada sampel I menghasilkan struktur papan paling optimal. Komposisi ini menghasilkan keseimbangan antara kekuatan ikatan semen–serat dan elastisitas serat bambu. 2. Densitas (Kerapatan)

Kode	Densitas (g/cm ³)
A	0.93
B	1.53
C	1.63
D	1.41
E	1.47
F	1.37
G	1.36
H	1.49
I	1.70
J	1.37
K	1.29
L	1.37
M1	1.22
N1	0.95
O1	0.75
M2	1.36
N2	1.11
O2	0.94
M3	1.32
N3	1.12
O3	0.83

Tabel 4.3 hasil pengujian densitas



Gambar 4.2 grafik hasil pengujian densitas Densitas sampel berkisar antara 0,75–1,78 g/cm³. Komposisi terbaik juga diperoleh pada sampel I dengan densitas 1,70 g/cm³. Nilai ini menunjukkan papan yang padat dan homogen. Rendahnya densitas pada kadar serat tinggi (>20%) terjadi akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya fraksi matriks semen yang mengisi rongga antar-serat.

3. Kualitas Visual

Kode	Nilai
A	1
B	1
C	2
D	2
E	1
F	1
G	2
H	1
I	3
J	3
K	3
L	2
M1	3
N1	3
O1	2
M2	3
N2	3

O2	2
M3	3
N3	3
O3	2

Gambar 4.3 grafik hasil pengamatan Berdasarkan hasil uji visual, sebagian besar sampel menunjukkan permukaan halus dan padat dengan warna abu muda, yang menandakan proses pencampuran dan pemadatan cukup baik.

Sampel dengan komposisi serat sedang (10–15%) dan penambahan kapur 5–10% menampilkan permukaan lebih halus, homogen, dan bebas retak. Pada kadar serat tinggi, permukaan cenderung kasar, serat terlihat di permukaan, dan distribusi semen kurang merata.

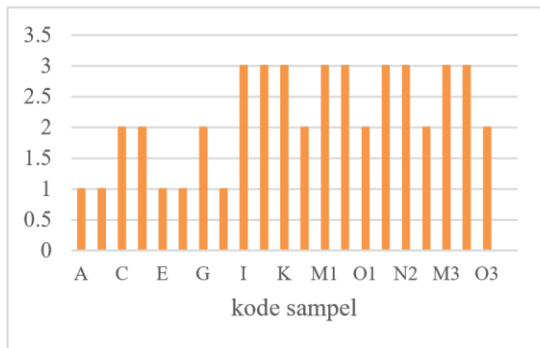
Sifat Material	Perlakuan Serat (Persentase)	Ratarata	Standar Deviasi	n
Densitas (g/cm ³)	10–15% (1)	1.39	0.24	8
Densitas (g/cm ³)	16–20% (2)	1.38	0.11	7
Densitas (g/cm ³)	>20% (3)	0.95	0.13	6
MOR (MPa)	10–15% (1)	5.12	1.73	8
MOR (MPa)	16–20% (2)	4.5	0.97	7
MOR (MPa)	>20% (3)	1.9	0.9	6

4. Perlakuan Serat (kadar serat)

Tabel 4.5 ringkasan statistik kadar serat

Tabel 4.4 hasil pengamatan visual

Ket; 1= kurang baik, 2= cukup baik, 3= baik



Gambar 4.4 grafik pengaruh presentase serat terhadap sifat material

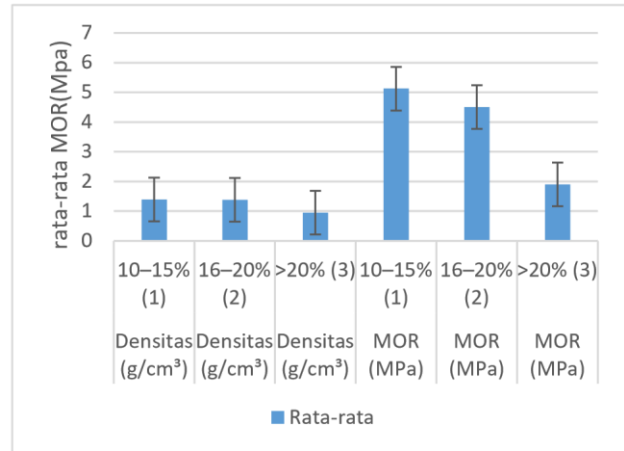
Grafik menunjukkan penurunan kuat lentur dan densitas dari kadar serat sedang (10–15%), lalu menurun signifikan di atas 20%. Pola ini mengindikasikan adanya titik optimum kadar serat yang menghasilkan kekompakan dan kekuatan terbaik.

Interpretasi visual:

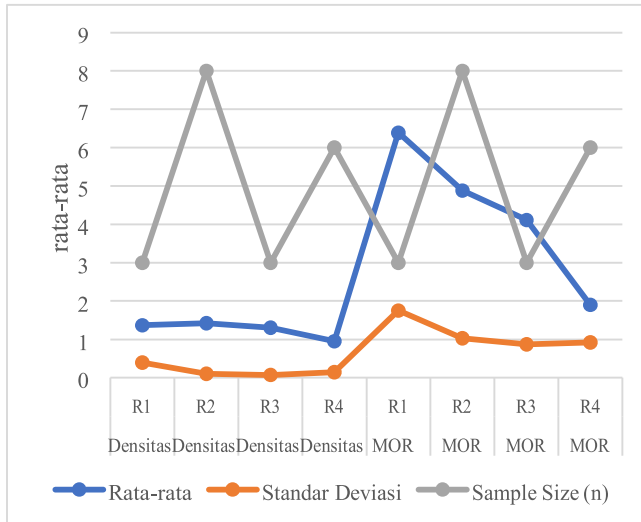
- Kadar serat 10–15% menghasilkan performa terbaik (MOR tertinggi 5,12 MPa).
- Peningkatan kadar serat di atas 20% menurunkan densitas dan kekuatan akibat peningkatan porositas.
- Densitas berbanding lurus dengan kuat lentur.

5. Rasio Serat-Semen

Sifat Material	Rasio Serat : Semen	Rata-rata	Standar Deviasi	Sample Size (n)
Densitas (g/cm ³)	R1 (1:7,8 – 1:7,1)	1.37	0.39	3



Densitas (g/cm ³)	R2 (1:5,1 – 1:4,7)	1.42	0.1	8
Densitas (g/cm ³)	R3 (1:3,7)	1.3	0.07	3
Densitas (g/cm ³)	R4 (1:2,5 – 1:1,2)	0.95	0.14	6
MOR (MPa)	R1 (1:7,8 – 1:7,1)	6.39	1.75	3
MOR (MPa)	R2 (1:5,1 – 1:4,7)	4.88	1.03	8
MOR (MPa)	R3 (1:3,7)	4.11	0.87	3
MOR (MPa)	R4 (1:2,5 – 1:1,2)	1.9	0.92	6



Tabel 4.6 ringkasan statistik serat-semen

Gambar 4.5 grafik pengaruh rasio seratsemen terhadap sifat material

Diagram menunjukkan bahwa rasio 1 : 7,1 menghasilkan nilai kuat lentur dan densitas tertinggi. Nilai MOR menurun drastis pada rasio di atas 1 : 3 karena peningkatan serat mengganggu ikatan semen dan memperbesar pori. Pada rasio menengah (1:5.1 – 1:3.7), nilai MOR dan densitas mulai menurun meskipun masih dalam kategori moderat. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah serat memperbesar peluang terjadinya fiber agglomeration dan distribusi yang kurang merata.

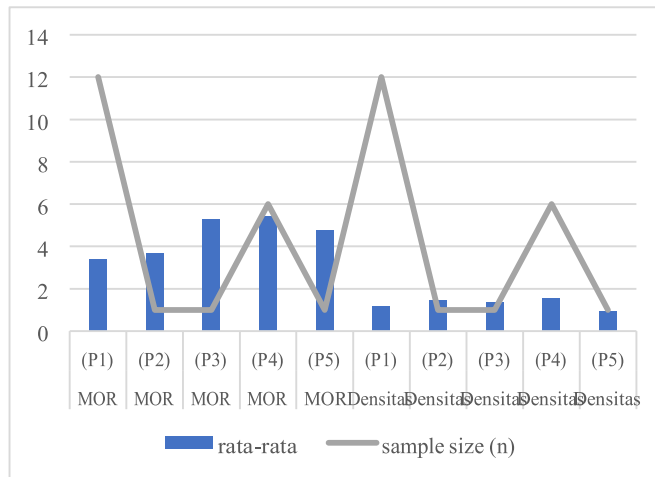
Interpretasi visual:

- Rasio 1 : 7,1 adalah rasio optimum (MOR = 8,26 MPa, Densitas = 1,7 g/cm³).
- Peningkatan serat di atas batas optimum menurunkan kerapatan dan kekuatan.
- Rasio serat–semen berpengaruh signifikan terhadap performa papan
- Kelebihan serat menyebabkan struktur menjadi sangat berpori, menghambat proses hidrasi, dan menurunkan efektivitas transfer beban.

6. Panjang Serat

Sifat Material	Panjang Serat	Ratarata	Standar Deviasi	n
MOR (MPa)	< 1 cm (P1)	3.37	1.54	12
MOR (MPa)	1–2 cm (P2)	3.69	-	1
MOR (MPa)	2–3 cm (P3)	5.26	-	1
MOR (MPa)	3–5 cm (P4)	5.44	1.83	6
MOR (MPa)	> 5 cm (P5)	4.76	-	1
Densitas (g/cm ³)	< 1 cm (P1)	1.14	0.22	12
Densitas (g/cm ³)	1–2 cm (P2)	1.47	-	1
Densitas (g/cm ³)	2–3 cm (P3)	1.36	-	1
Densitas (g/cm ³)	3–5 cm (P4)	1.52	0.12	6
Densitas (g/cm ³)	> 5 cm (P5)	0.93	-	1

Tabel 4.7 ringkasan statistik panjang serat



Gambar 4.6 grafik pengaruh panjang serat terhadap sifat material

Grafik menunjukkan peningkatan kuat lentur tertinggi pada panjang serat 2-5 cm, kemudian menurun pada serat lebih panjang. Serat yang terlalu pendek tidak membentuk ikatan efektif, sedangkan serat panjang sulit terdistribusi homogen.

Interpretasi Visual:

- Nilai MOR meningkat seiring bertambahnya panjang serat dari <1 cm hingga 3-5 cm.
- Penurunan kecil terjadi pada panjang serat >5 cm karena potensi penggumpalan dan distribusi serat yang kurang merata.
- Panjang serat 2-5 cm paling efektif dalam menyalurkan beban dan membentuk jembatan pengikat antarpartikel semen.

F1 (Serat)	F2 (Rasio)	F3 (Panjang)	Mean	SD	n
S (10–15%)	R1 (1:7.8–1:7.1)	P4 (3–5 cm)	1.4	0.39	3
S (10–15%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P4 (3–5 cm)	1.49	0.11	4

d). Kategori P4 (3-5 cm) menunjukkan performa terbaik dengan MOR rata-rata 5.44

Mpa dan Densitas: 1.52 g/cm³

e). Efektivitas P4 disebabkan oleh kemampuan serat membentuk mekanisme penahan retak (crack bridging) dan meningkatkan kontinuitas struktur komposit.

7. Interaksi Antar Faktor

Analisis interaksi antar faktor dilakukan untuk mengetahui apakah pengaruh panjang serat bambu terhadap kuat lentur (MOR) bergantung pada rasio serat-semen. Dengan kata lain, bagian ini bertujuan menilai apakah dua faktor bebas (rasio serat-semen dan panjang serat) bekerja secara independen atau saling memengaruhi dalam menentukan sifat mekanik papan semen-serat.

Apabila garis hubungan antar faktor sejajar (tidak saling berpotongan), maka tidak terdapat interaksi yang signifikan. Sebaliknya, jika garis saling berpotongan atau memiliki kemiringan berbeda, hal tersebut menunjukkan adanya efek interaksi.

Analisis data menggunakan nilai rata-rata dari variasi sampel yang diuji, maka untuk data pengamatan hanya digunakan kombinasi faktor yang memiliki >2 sampel pada tiap kelompok.

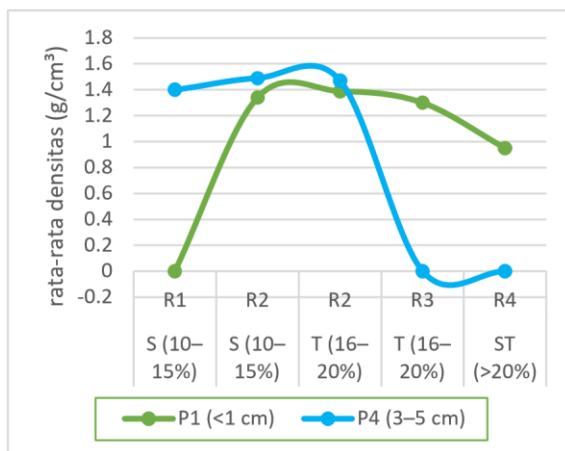
F1 (Serat)	F2 (Rasio)	F3 (Panjang)	Mean MOR	SD	n
S (10–15%)	R1 (1:7.8–1:7.1)	P4 (3–5 cm)	6.39	1.35	3
S (10–15%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P4 (3–5 cm)	5.44	1.83	4

S (10–15%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P1 (<1 cm)	1.34	0.12	3
T (16–20%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P1 (<1 cm)	1.39	0.07	4
T (16–20%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P4 (3–5 cm)	1.47	0.1	3
T (16–20%)	R3 (1:3.7)	P1 (<1 cm)	1.3	0.07	3
ST (>20%)	R4 (1:2.5–1:1.2)	P1 (<1 cm)	0.95	0.14	6

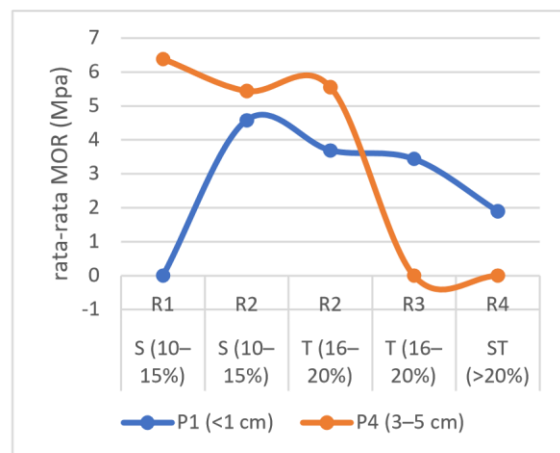
Tabel 4.8 interaksi densitas

S (10–15%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P1 (<1 cm)	4.58	1.2	3
T (16–20%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P1 (<1 cm)	3.69	1.02	4
T (16–20%)	R2 (1:5.1–1:4.7)	P4 (3–5 cm)	5.56	0.41	3
T (16–20%)	R3 (1:3.7)	P1 (<1 cm)	3.44	0.87	3
ST (>20%)	R4 (1:2.5–1:1.2)	P1 (<1 cm)	1.9	0.9	6

Tabel 4.9 interaksi MOR



Gambar 4.7 grafik interaksi antar faktor densitas



Gambar 4.8 grafik interaksi antar faktor terhadap MOR terhadap

Nilai MOR tertinggi diperoleh pada Nilai Densitas tertinggi diperoleh pada kombinasi serat panjang (3–5 cm) dengan kombinasi serat panjang (3–5 cm) dengan rasio serat–semen rendah (1:7,8 – 1:7,1) dan rasio serat–semen rendah-menengah (1:5.1– presentase serat sedang (10-15%), yaitu

1:4,7) dan presentase serat sedang (10-15%),

sekitar 1,4-1,6 g/cm³.

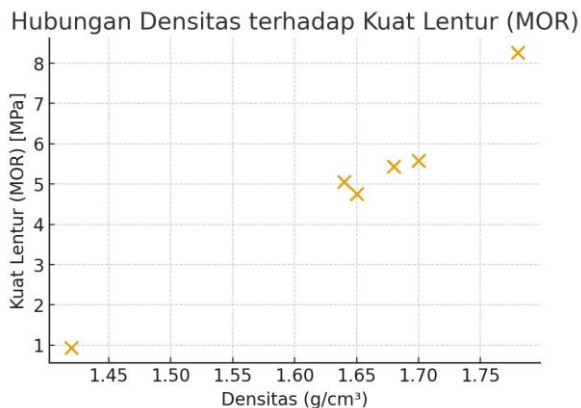
Interpretasi Visual:

- Seiring peningkatan rasio serat–semen (semakin banyak serat terhadap semen), nilai MOR dan Densitas menurun pada seluruh kategori panjang serat.
- garis hubungan antar faktor saling berpotongan pada rasio 1:5,1 hingga 1:4,7 dengan rentang presentase serat 16 - 20%
- Kondisi ini mengindikasikan bahwa terdapat interaksi antara dua faktor, di mana pengaruh panjang serat terhadap kuat lentur bergantung pada rasio serat–semen yang digunakan.

8. Hubungan Antarparameter

Korelasi antara densitas dan kuat lentur (MOR) menunjukkan kecenderungan berbanding lurus: semakin tinggi densitas, semakin tinggi nilai MOR yang diperoleh. Fenomena ini terjadi karena kepadatan material yang lebih besar menunjukkan jumlah pori yang lebih sedikit, sehingga gaya tekan dan tarik dapat disalurkan lebih merata di dalam struktur papan.

Sampel I dan I2 yang memiliki densitas sekitar 1,7–1,8 g/cm³ juga memperlihatkan nilai MOR tertinggi (8,26 MPa), memperkuat hubungan positif antara parameter fisik dan mekanik

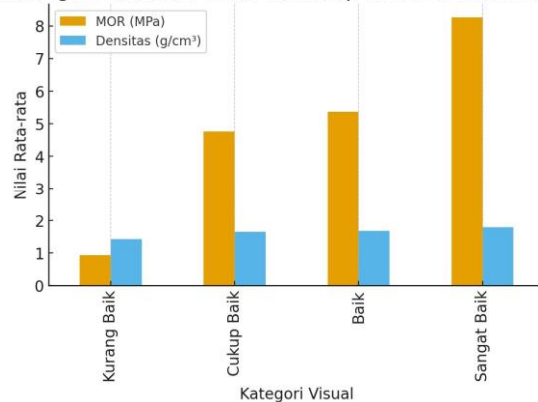


sekitar 6-7 MPa. yaitu

Gambar 4.9 grafik hubungan sifat material Hubungan Densitas terhadap Kuat Lentur (MOR) — menunjukkan korelasi positif: semakin padat papan, semakin tinggi nilai MOR.

Secara keseluruhan, variasi serat memberikan pengaruh paling dominan terhadap performa papan semen-serat, dan kapur meningkatkan stabilitas struktur terutama pada kadar serat menengah.

Hubungan Penilaian Visual terhadap Nilai MOR dan Densitas



Gambar 4.10 grafik hubungan Visual terhadap MOR dan Densitas

Hubungan Penilaian Visual terhadap Nilai MOR dan Densitas — memperlihatkan bahwa kategori visual “Sangat Baik” memiliki nilai MOR dan densitas tertinggi.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap pengaruh penggunaan serat bambu dan kapur dalam pembuatan papan semenserat, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Serat bambu terbukti memberikan peningkatan signifikan terhadap sifat mekanik dan fisik papan semen–serat.

Rentang kadar 11–15% menghasilkan performa paling optimal dengan MOR 8,26 MPa dan densitas 1,7–1,8 g/cm³, menunjukkan efektifnya peran serat dalam memperkuat matriks dan mengontrol retak. Temuan ini menegaskan fungsi serat bambu sebagai elemen penguat yang bekerja efektif dalam sistem komposit semen.

2. Penambahan kapur pada kisaran 5–10% terbukti meningkatkan kerapatan dan stabilitas komposit melalui pembentukan senyawa C–S–H. Komposisi terbaik (84,3% semen, 11,8% serat bambu, 3,9% kapur) memberikan performa visual, fisik, dan mekanik tertinggi, mengonfirmasi kapur sebagai aditif yang signifikan dalam penguatan struktur papan semen–serat.
3. Produk papan semen–serat berbasis bambu lokal memenuhi standar kekuatan SNI dan memiliki densitas kategori menengah, sehingga layak untuk aplikasi panel ringan. Secara ilmiah, penelitian ini membuktikan bahwa serat bambu lokal dapat menjadi alternatif material komposit yang lebih berkelanjutan, sekaligus memperluas pemanfaatan biomaterial dalam industri konstruksi.

Saran

1. Penelitian lanjutan disarankan menambahkan pengujian terhadap sifat fisik lainnya seperti daya serap air, ketahanan terhadap api, dan stabilitas dimensi untuk memperkuat kelayakan teknis papan semen–serat pada aplikasi konstruksi nyata.
2. Variasi jenis bambu lokal seperti Bambu Betung, Ampel, dan Tali perlu diteliti lebih lanjut untuk menentukan jenis serat dengan karakteristik mekanik

terbaik serta mengoptimalkan potensi keanekaragaman hayati daerah.

3. Perlakuan awal serat (treatment) perlu dioptimalkan, misalnya dengan proses alkali atau pemanasan uap, untuk memperbaiki ikatan kimia antara serat dan matriks semen serta memperpanjang umur pakai produk.
4. Dalam skala industri, formulasi optimum (Semen 84,3%, Serat 11,8%, Kapur 3,9%) dapat digunakan sebagai referensi awal dalam produksi massal, namun perlu uji validasi pada sistem press hidrolik dan kontrol kelembapan agar mutu produk tetap konsisten.
5. Kegiatan hilirisasi dan pemberdayaan masyarakat perlu dikembangkan melalui pelatihan pembuatan papan semen–serat berbasis bambu di daerah penghasil bambu, guna menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan nilai ekonomi sumber daya lokal.
6. Disarankan bagi akademisi dan lembaga penelitian untuk menjadikan hasil riset ini sebagai dasar publikasi ilmiah dan kolaborasi lintas disiplin (teknik sipil, material, lingkungan, dan ekonomi kreatif) demi memperkuat posisi Indonesia dalam pengembangan material komposit alami di tingkat global.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, H., Yu, Y., Zhong, T., & Wu, Y. (2017). Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of individual bamboo fibers. (Referensi relevan untuk menjelaskan perubahan morfologi serat bambu akibat perlakuan alkali).
- Cotton, J. (2018). On the Chatham House project: interwar actors, networks,

- knowledge. *International Politics*, 55(6), 820–835.
- He, Z., Han, X., Zhang, Y., Zhang, Z., Shi, J., & Gencel, O. (2022). Development of a new magnesium oxychloride cement board by recycling of waste wood, rice husk ash and flue gas desulfurization gypsum. *Journal of Building Engineering*, 61, 105206.
- Li, H., Wang, L., Zhang, Y., Yang, J., Tsang, D. C. W., & Mechtcherine, V. (2023). Biochar for sustainable construction industry. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 63–95). Elsevier.
- Liese, W., & Kohl, M. (2015). *Bamboo: The plant and its uses*. Switzerland. (Referensi dasar mengenai bambu sebagai biomaterial).
- Moslemi, A. A. (1999). Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. *Advanced Performance Materials*, 6(2), 161–179.
- Singh, A., & Yadav, B. P. (2024). Sustainable innovations and future prospects in construction material: A review on natural fiber-reinforced cement composites. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(54), 62549–62587.
- Wei, Y. M., & Tomita, B. (2001). Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards. *Journal of Wood Science*, 47(6), 437–444.
- Yin, C., et al. (2024). Influence of pretreatment on properties of bamboo Portland cement particle board. (Referensi pendukung tentang pentingnya pretreatment serat).
- Akinyemi, O. P., & Osasona, C. O. (2017). Strength properties of bamboo-fibre cement boards used as building partitions.