

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahasan tentang pengujian benda uji dan biaya produksi antara plafon *gypsum* konvensional dan plafon *gypsum* inovasi akan dibahas dan diulas dalam bab ini. Hal ini dilakukan untuk menentukan karakteristik mekanis dan fisik plafon *gypsum*. Untuk melakukan hal ini, sejumlah pengujian akan dilakukan, seperti pengujian penyerapan air, perluasan ketebalan, kekuatan lentur, dan pengujian densitas.

4.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas melibatkan perbandingan antara berat dan volume suatu objek. Persamaan (1) digunakan untuk menghitung nilai densitas. Setiap variasi memiliki tiga objek uji dan menjalani pengujian densitas. Nilai densitas setiap spesimen uji akan ditentukan dengan mengukur volumenya sesuai dengan ukuran cetakan $15\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 0,9\text{ cm}$. Benda uji ditimbang untuk menentukan nilai massanya, yang kemudian dimasukkan ke dalam Persamaan 2.2. Berikut perhitungan hasil setiap variasi benda uji:

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A1} &= \frac{m}{v} \\
 &= \frac{168,7\text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9\text{ cm}^3} \\
 &= \frac{168,7\text{ gram}}{135\text{ cm}^3} \\
 &= 1,25\text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A2} &= \frac{m}{v} \\
 &= \frac{152,5\text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9\text{ cm}^3} \\
 &= \frac{152,5\text{ gram}}{135\text{ cm}^3} \\
 &= 1,13\text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A3} &= \frac{m}{v} \\
 &= \frac{168,7\text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9\text{ cm}^3} \\
 &= \frac{168\text{ gram}}{135\text{ cm}^3}
 \end{aligned}$$

$$= 1,25 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Nilai rata – rata densitas variasi A} = \frac{1,25+1,13+1,25}{3} = 1,21 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi B1} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{153,8 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{153,8 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3} \\ &= 1,14 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi B2} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3} \\ &= 1,22 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi B3} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3} \\ &= 1,22 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata densitas variasi B} = \frac{1,14+1,22+1,22}{3} = 1,19 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C1} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3} \\ &= 1,22 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C2} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{164,3 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3} \\ &= 1,22 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C3} &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{168 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3}\end{aligned}$$

$$= \frac{168 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,24 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Nilai rata – rata densitas variasi C} = \frac{1,22+1,22+1,24}{3} = 1,23 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Variasi D1} = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{161,7 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3}$$

$$= \frac{161,9 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,20 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Variasi D2} = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{168,9 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3}$$

$$= \frac{168,9 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,25 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Variasi D3} = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{168,9 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3}$$

$$= \frac{168,9 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,25 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Nilai rata – rata densitas variasi D} = \frac{1,20+1,25+1,25}{3} = 1,23 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Variasi E1} = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{161,5 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3}$$

$$= \frac{161,5 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,20 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Variasi E2} = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{166,9 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3}$$

$$= \frac{166,9 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,24 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Variasi E3} = \frac{m}{v}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{166,9 \text{ gram}}{15 \times 10 \times 0,9 \text{ cm}^3} \\
 &= \frac{166,9 \text{ gram}}{135 \text{ cm}^3} \\
 &= 1,24 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata densitas variasi E} = \frac{1,20 + 1,24 + 1,24}{3} = 1,22 \text{ gr/cm}^3$$

Nilai uji densitas total untuk ketiga objek uji pada masing-masing dari lima variasi ditampilkan dalam Tabel berikut ini.

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Densitas

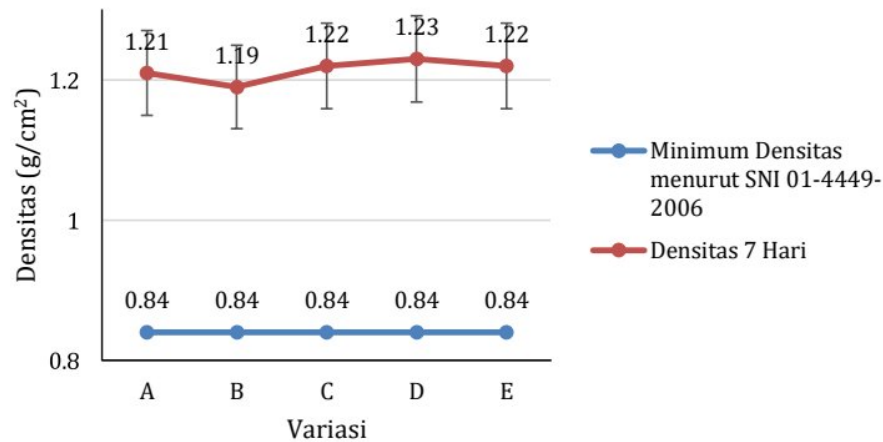
Sampel	Kode Sampel	Densitas (gr/cm ³)	Densitas rata – rata (gr/cm ³)
0% SDN ; 0% SCT	A1	1,25	1,21
	A2	1,13	
	A3	1,25	
6% SDN ; 2,5% SCT	B1	1,14	1,19
	B2	1,22	
	B3	1,22	
6% SDN ; 5% SCT	C1	1,22	1,22
	C2	1,22	
	C3	1,24	
6% SDN ; 7,5% SCT	D1	1,20	1,23
	D2	1,25	
	D3	1,25	
6% SDN ; 10% SCT	E1	1,20	1,22
	E2	1,24	
	E3	1,24	

Sumber: Pribadi

Keterangan:

Variasi Terbaik :





Gambar 4. 1 Hasil Uji Densitas

Kesimpulan Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 diatas adalah variasi yang memiliki nilai densitas tertinggi adalah variasi D sebesar $1,23 \text{ gr/cm}^3$ yang dimana variasi D menggunakan campuran serat daun nanas sebanyak 6% dan serbuk cangkang telur sebanyak 7,5%. Kemudian pada variasi A, B, C, E masing-masing memiliki nilai $1,21 \text{ gr/cm}^3$, $1,19 \text{ gr/cm}^3$, $1,22 \text{ gr/cm}^3$, dan $1,22 \text{ gr/cm}^3$. Semua benda uji telah memenuhi syarat nilai daya serap air yaitu $>0,84 \text{ gr/cm}^3$ berdasarkan pada SNI 01-4449-2006 dikategorikan sebagai Papan Serat Kerapatan Tinggi (PSKT).

Penambahan bubuk cangkang telur dan serat daun nanas sebagai bahan substitusi dalam plafon *gypsum* mempengaruhi fluktuasi nilai densitas dalam studi ini. Korelasi antara pengujian densitas dan daya serap air yaitu menurut (Wuriyudani & Darsono, 2017), penggunaan serat daun nanas menyebabkan adanya ruang atau rongga dalam pembuatan plafon *gypsum* yang dapat mempengaruhi daya serap airnya. Peran serbuk cangkang telur pada pengujian densitas ini adalah mampu menutup pori-pori dan partikel penyusunnya padat sehingga, serbuk cangkang telur ini mampu menutupi kekurangan pada serat daun nanas yang bisa masuk ke dalam pori terkecil dalam plafon *gypsum* dan mempengaruhi nilai kerapatan/densitasnya.

4.2 Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan dengan merendam sampel/benda uji selama 24 jam. Berikut merupakan hasil perhitungan daya serap air mengacu pada SNI 01-4449-2006.

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A1} &= \frac{mb-mk}{mb} \times 100\% \\
 &= \frac{208,3-168,7}{168,7} \times 100\% \\
 &= 23,47\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A2} &= \frac{mb-mk}{mb} \times 100\% \\
 &= \frac{198,1-152,5}{152,5} \times 100\% \\
 &= 29,90\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A3} &= \frac{mb-mk}{mb} \times 100\% \\
 &= \frac{207,1-168,7}{168,7} \times 100\% \\
 &= 22,76\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata daya serap air variasi A} = \frac{23,47+29,90+22,76}{3} = 25,38\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi B1} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\
 &= \frac{202,6-153,8}{153,8} \times 100\% \\
 &= 31,73\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi B2} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\
 &= \frac{208,6-164,3}{164,3} \times 100\% \\
 &= 26,96\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi B3} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\
 &= \frac{206,3-164,3}{164,3} \times 100\% \\
 &= 25,56\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata daya serap air variasi B} = \frac{31,73+26,96+25,56}{3} = 28,09\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi C1} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\
 &= \frac{210,6-164,3}{164,3} \times 100\% \\
 &= 28,18\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi C2} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\
 &= \frac{209,7-164,3}{164,3} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 27,63\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C3} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{213,6-168}{168} \times 100\% \\ &= 27,14\%\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata daya serap air variasi C} = \frac{28,18+27,63+27,14}{3} = 27,65\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D1} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{206,6-161,9}{161,9} \times 100\% \\ &= 27,61\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D2} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{209,4-168,9}{168,9} \times 100\% \\ &= 23,98\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D3} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{209,4-168,9}{168,9} \times 100\% \\ &= 23,98\%\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata daya serap air variasi D} = \frac{27,61+23,98+23,98}{3} = 25,19\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi E1} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{204,8-161,5}{161,5} \times 100\% \\ &= 26,81\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi E2} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{208,9-166,9}{166,9} \times 100\% \\ &= 25,16\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi E3} &= \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \\ &= \frac{207,8-166,9}{166,9} \times 100\% \\ &= 24,51\%\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata daya serap air variasi E} = \frac{26,81+25,16+24,51}{3} = 25,49\%$$

Berikut Tabel hasil pengujian daya serap air yang telah dilakukan setiap benda uji di kelima variasi.

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Daya Serap Air

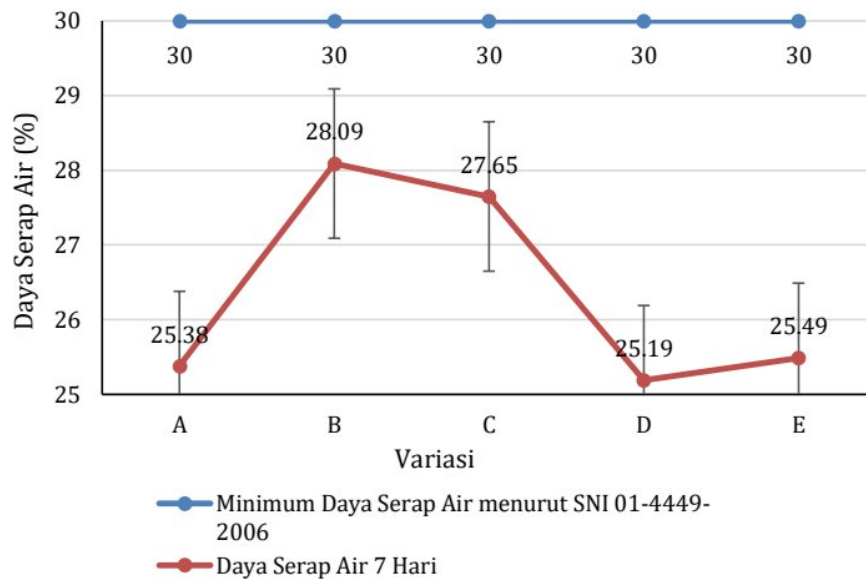
Variasi	Sampe Benda Uji	Massa Kering (gr)	Massa Basah (gr)	Daya Serap Air (%)	Rata-Rata Daya Serap Air(%)
0% SDN ; 0% SCT	A1	168,7	207,3	22,88	25,38
	A2	152,5	197,1	29,25	
	A3	168,7	206,1	22,17	
6% SDN ; 2,5% SCT	B1	153,8	202,6	31,73	28,09
	B2	164,3	208,6	26,96	
	B3	164,3	206,3	25,56	
6% SDN ; 5% SCT	C1	164,3	210,6	28,18	27,65
	C2	164,3	209,7	27,63	
	C3	168	213,6	27,14	
6% SDN ; 7,5% SCT	D1	161,9	207,6	28,23	25,19
	D2	168,9	210,4	24,57	
	D3	168,9	210,4	24,57	
6% SDN ; 10% SCT	E1	161,5	205,3	27,12	25,49
	E2	166,9	209,4	25,46	
	E3	166,9	208,3	24,81	

Sumber: Pribadi

Keterangan:

Variasi Terbaik :





Gambar 4. 2 Hasil Daya Serap Air

Kesimpulan Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 diatas adalah variasi yang memiliki nilai terbaik adalah variasi D 25,19%, variasi D menggunakan campuran serat daun nanas 6% dan serbuk cangkang telur 7,5%. Kemudian pada variasi A, B, C, dan E masing-masing memiliki nilai sebesar 25,38%, 28,09%, 27,65% dan 25,49%. Semua benda uji telah memenuhi syarat nilai daya serap air yaitu $< 30\%$ berdasarkan SNI 01-4449-2006 dikategorikan sebagai Papan Serat Kerapatan Tinggi (PSKT).

Penambahan bubuk cangkang telur dan serat daun nanas sebagai bahan substitusi dalam plafon *gypsum* mempengaruhi fluktuasi nilai densitas dalam studi ini. Perubahan ini dikarenakan penggunaan serat daun nanas yang merupakan serat organik yang dapat menyerap air lebih tinggi sehingga terdapat ruang atau rongga dalam pembuatan plafon *gypsum* yang dapat mempengaruhi daya serap airnya (Wuriyudani & Darsono, 2017). Sedangkan serbuk cangkang telur dapat menutup pori yang terdapat di permukaan papan *gypsum*, sehingga mampu meminimalisir penyerapan airnya.

4.3 Pengujian Kuat Lentur

Hasil pengujian kelima variasi plafon *gypsum* dihitung menggunakan rumus yang sesuai dengan SNI 01-4449-2006 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A1} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 11,306 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 20,937 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A2} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 11,965 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 22,157 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi A3} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 10,204 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 18,896 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata kuat lentur variasi A} = \frac{20,937 + 22,157 + 18,896}{3} = 20,664 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi B1} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 11,365 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 21,046 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi B2} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 11 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 20,370 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi B3} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 12 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 22,222 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata kuat lentur variasi B} = \frac{21,046 + 20,370 + 22,222}{3} = 21,213 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi C1} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 13 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\
 &= 24,074 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi C2} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\
 &= \frac{3 \times 19 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2}
 \end{aligned}$$

$$= 35,185 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C3} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 14 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 25,926 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata kuat lentur variasi C} = \frac{24,074 + 35,185 + 25,926}{3} = 28,395 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D1} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 18 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 33,333 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D2} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 26 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 48,148 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D3} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 23 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 42,593 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata kuat lentur variasi D} = \frac{33,333 + 48,148 + 42,593}{3} = 41,358 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi E1} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 20 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 37,037 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi E2} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 17 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 31,481 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi E3} &= \frac{3BS}{2LT^2} \\ &= \frac{3 \times 15 \times 10}{2 \times 10 \times 0,9^2} \\ &= 27,778 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata – rata kuat lentur variasi E} = \frac{37,037 + 31,481 + 27,778}{3} = 32,099 \text{ kgf/cm}^2$$

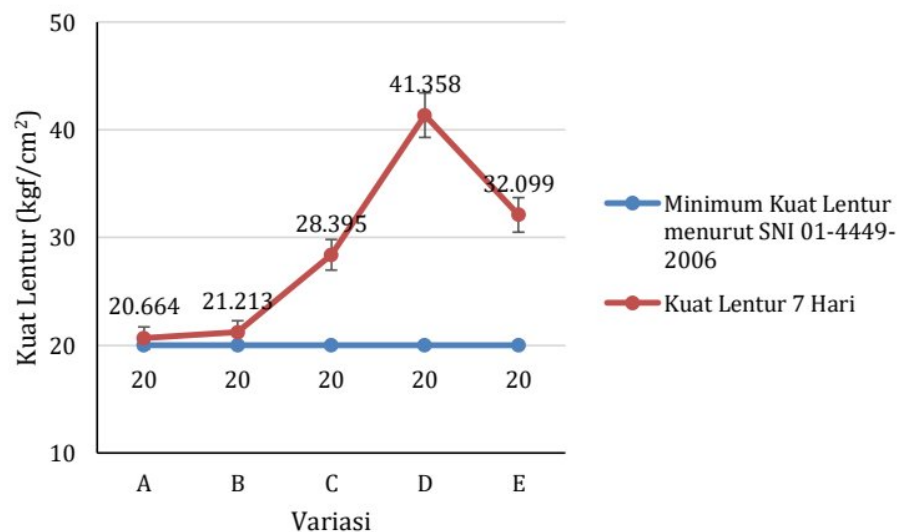
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Kuat Lentur

Variasi	Sampel Benda Uji	Kuat Lentur (kgf/cm ²)	Rata-rata Kuat Lentur (kgf/cm ²)
0% SDN ; 0% SCT	A1	20,937	20,664
	A2	22,157	
	A3	18,896	
6% SDN ; 2,5% SCT	B1	21,046	21,213
	B2	20,370	
	B3	22,222	
6% SDN ; 5% SCT	C1	24,074	28,395
	C2	35,185	
	C3	25,926	
6% SDN ; 7,5% SCT	D1	33,333	41,358
	D2	48,148	
	D3	42,593	
6% SDN ; 10% SCT	E1	37,037	32,099
	E2	31,481	
	E3	27,778	

Sumber: Pribadi

Keterangan:

Variasi Terbaik :



Gambar 4. 3 Hasil Uji Kuat Lentur

Dari Tabel 4.3 dan Gambar 4.3, hasil pengujian kuat lentur diatas dapat disimpulkan jika variasi yang memiliki nilai kuat lentur terbaik pada plafon *gypsum*

variasi D dengan nilai 41,358 kgf/cm² yang dimana variasi D menggunakan campuran serat daun nanas sebanyak 6% dan serbuk cangkang telur sebanyak 7,5%. Kemudian variasi terendah adalah variasi A yaitu sebesar 20,664. Variasi B, C, E masing-masing memiliki nilai sebesar 21,213 kgf/cm², 28,395 kgf/cm², 32,099 kgf/cm². Semua benda uji telah memenuhi syarat nilai kuat lentur yaitu > 20,00 kgf/cm² berdasarkan SNI 01-4449-2006 dikategorikan sebagai Papan Serat Kerapatan Tinggi (PSKT).

Penggunaan bubuk cangkang telur dan serat daun nanas sebagai bahan alternatif dalam plafon *gypsum* mempengaruhi peningkatan dan penurunan kekuatan lentur dalam studi ini. Penelitian sebelumnya yang dilakukan (Fathurrahman dkk., 2020) yaitu penggunaan serat daun nanas sebesar 6% memiliki nilai mutu lebih baik dibandingkan dengan variasi konvensional terutama pada pengujian kuat lenturnya lebih tinggi. Penggunaan komposisi 6% serat daun nanas dan 7,5% serbuk cangkang telur terbukti meningkatkan kuat lentur papan *gypsum*.

4.4 Pengujian Pengembangan Tebal

Berikut hasil perhitungan pengujian pengembangan tebal menggunakan rumus berdasarkan SNI 01-4449-2006:

$$\begin{aligned}\text{Variasi A1} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,937 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\ &= 4,11\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi A2} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,919 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\ &= 2,11\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi A3} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,927 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\ &= 3\%\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata - rata pengembangan tebal variasi A} = \frac{4,11\% + 2,11\% + 3\%}{3} = 3,074\%$$

$$\text{Variasi B1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\%$$

$$= \frac{0,926-0,9}{0,9} \times 100\%$$

$$= 2,89\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi B2} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,929-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 3,22\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi B3} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,927-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 3\%$$

$$\text{Nilai rata – rata pengembangan tebal variasi B} = \frac{2,89\%+3,22\%+3\%}{3} = 3,037 \%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C1} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,924-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 2,67\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C2} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,922-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 2,44\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi C3} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,932-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 3,56\%$$

$$\text{Nilai rata – rata pengembangan tebal variasi C} = \frac{2,67\%+2,44\%+3,56\%}{3} = 2,889\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D1} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,918-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 2\%$$

$$\begin{aligned}\text{Variasi D2} &= \frac{T_2-T_1}{T_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,92-0,9}{0,9} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 2,22\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi D3} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\
 &= \frac{0,938 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\
 &= 4,22\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata - rata pengembangan tebal variasi D} = \frac{2\% + 2,22\% + 4,22\%}{3} = 2,815\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi E1} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\
 &= \frac{0,923 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\
 &= 2,56\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi E2} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\
 &= \frac{0,923 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\
 &= 2,56\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi E3} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \\
 &= \frac{0,931 - 0,9}{0,9} \times 100\% \\
 &= 3,44\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata - rata pengembangan tebal variasi E} = \frac{2,56\% + 2,56\% + 3,44\%}{3} = 2,852\%$$

Hasil uji pengembangan ketebalan untuk setiap objek uji pada lima variasi ditampilkan dalam Tabel berikut.

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Pengembangan Tebal

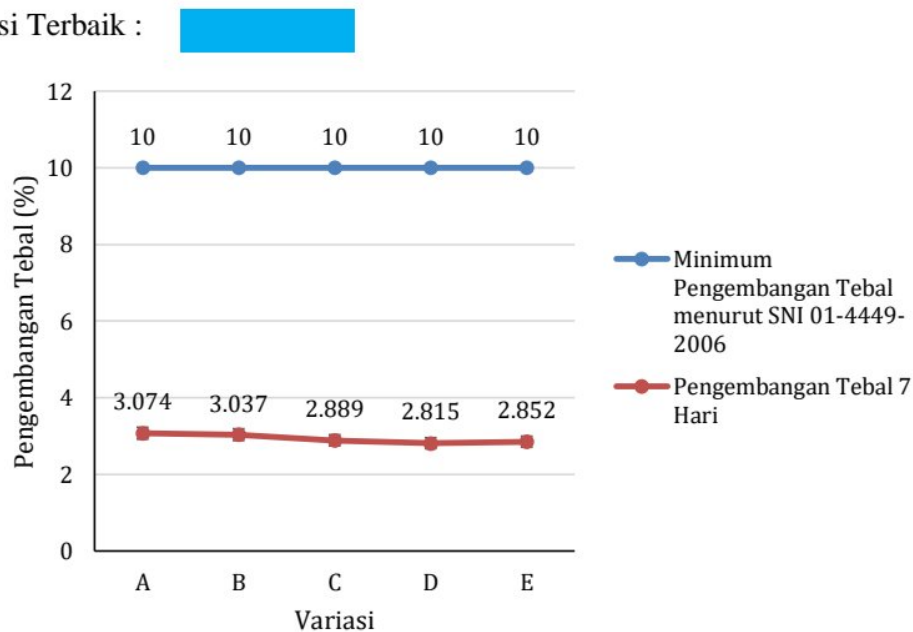
Variasi	Sampel Benda Uji	Ketebalan Sebelum Perendaman (cm)	Ketebalan Sesudah Perendaman (cm)	Pengembangan Tebal (%)	Rata-rata Pengembangan tebal (%)
0% SDN ; 0% SCT	A1	0,9	0,937	4,11	3,074
	A2	0,9	0,919	2,11	
	A3	0,9	0,927	3	
6% SDN ; 2,5% SCT	B1	0,9	0,926	2,89	3,037
	B2	0,9	0,929	3,22	
	B3	0,9	0,927	3	
6%	C1	0,9	0,924	2,67	

Variasi	Sampel Benda Uji	Ketebalan Sebelum Perendaman (cm)	Ketebalan Sesudah Perendaman (cm)	Pengembangan Tebal (%)	Rata-rata Pengembangan tebal (%)
SDN ; 5% SCT	C2	0,9	0,922	2,44	2,889
	C3	0,9	0,932	3,56	
6% SDN ; 7,5% SCT	D1	0,9	0,913	2	2,815
	D2	0,9	0,922	2,22	
	D3	0,9	0,941	4,22	
6% SDN ; 10% SCT	E1	0,9	0,911	2,56	2,852
	E2	0,9	0,914	2,56	
	E3	0,9	0,952	3,44	

Sumber: Pribadi

Keterangan:

Variasi Terbaik :



Gambar 4. 4 Hasil Uji Pengembangan Tebal

Variasi hasil pengujian dengan nilai pengembangan tebal pada variasi *gypsum* dapat disimpulkan dari Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 di atas. Variasi A memiliki nilai 3,074% ,yang dimana mengalami pengembangan tebal paling tinggi dan variasi A merupakan plafon konvensional. Kemudian variasi terbaik adalah

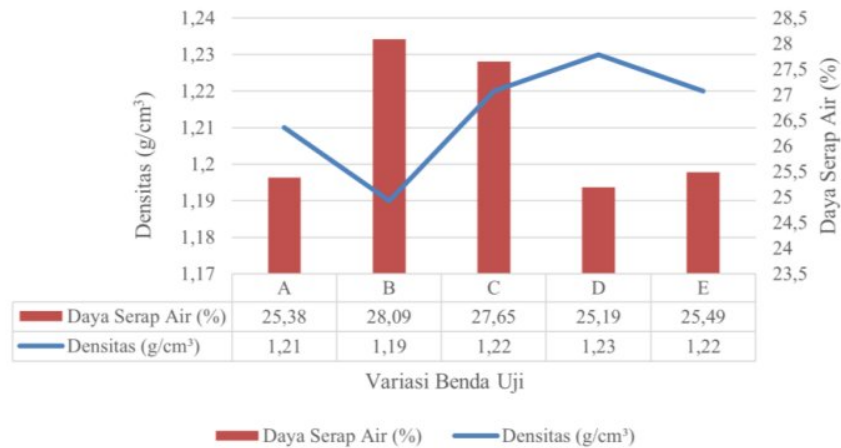
variasi D yaitu sebesar 2,815%. Variasi B, C, E masing-masing memiliki nilai sebesar 3,037%, 2,889%, 2,852%. Semua benda uji telah memenuhi syarat nilai pengembangan tebal yaitu $\pm 10\%$.

mengacu pada SNI 01-4449-2006 dikategorikan sebagai Papan Serat Kerapatan Tinggi (PSKT).

Pengembangan tebal dipengaruhi oleh partikel penyusun yang digunakan, semakin merata kadar zat penyusunnya, maka pengembangan papan serat juga menurun (Muzata, 2015). Penggunaan komposisi 6% serat daun nanas dan 7,5% serbuk cangkang telur terbukti menurunkan pengembangan tebal papan *gypsum*. Pada pengujian ini, serbuk cangkang telur berperan penting dalam pembuatan plafon *gypsum*. Penyaringan serbuk cangkang telur 200 mesh mampu menutup pori-pori terkecil dalam plafon *gypsum*.

4.5 Hubungan Densitas dan Daya Serap Air

Pada material komposit atau papan serat seperti plafon *gypsum* yang dimodifikasi dengan menambahkan serat daun nanas dan substitusi parsial *gypsum* menggunakan serbuk cangkang telur, sifat fisik seperti kerapatan dan daya serap air merupakan parameter penting yang saling berkaitan dan dapat memengaruhi performa akhir material. Kerapatan berkaitan dengan seberapa padat struktur material tersebut, sedangkan daya serap air menunjukkan seberapa besar kemampuan material menyerap kelembapan dari lingkungan sekitarnya. Pemahaman terhadap hubungan antara kedua sifat tersebut sangat penting, terutama untuk mengetahui bagaimana variasi komposisi material dapat memengaruhi ketahanan terhadap kelembapan, kekuatan struktural, serta umur pemakaian material. Oleh karena itu, pada bagian ini akan dianalisis bagaimana kecenderungan hubungan antara nilai kerapatan dan daya serap air yang dihasilkan dari 5 variasi campuran serat daun nanas dan serbuk cangkang telur, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium.



Gambar 4. 5 Diagram Hubungan Densitas dan Daya Serap

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, Gambar 4.5 menyajikan hubungan antara kerapatan dan daya serap air pada pembuatan plafon *gypsum* dengan penambahan serat daun nanas dan substitusi parsial serbuk cangkang telur pada *gypsum*. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara kedua sifat tersebut tidak bersifat linier atau konsisten, melainkan menunjukkan tren yang bervariasi, sehingga perlu dianalisis lebih mendalam dari segi perilaku materialnya.

Pada titik awal yaitu variasi A, densitas berada pada angka 1,21 g/cm³, sedangkan daya serap air sebesar 25,38 %. Kemudian pada variasi B, densitas menurun menjadi 1,19 g/cm³ dan daya serap air meningkat menjadi 28,09 %. Pada variasi C, densitas naik menjadi 1,22 g/cm³ dan daya serap airnya menurun menjadi 27,65%, dan pada variasi D terjadi kenaikan densitas menjadi 1,23 g/cm³ dan daya serap airnya menurun menjadi 25,19% . Penurunan ini menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara kerapatan dan daya serap air, di mana peningkatan kepadatan material menyebabkan berkurangnya porositas dan jalur masuk air, sehingga mengurangi kemampuan material menyerap air. Hal ini mengindikasikan bahwa pada variasi D, distribusi serat daun nanas dan serbuk cangkang telur dalam matriks *gypsum* sangat efektif, menghasilkan struktur yang padat dan homogen. Temuan ini sejalan dengan penelitian Xu dkk., (2024), yang menyatakan bahwa distribusi serat yang baik dan homogen dapat meningkatkan densitas serta menurunkan daya serap air secara signifikan.

Namun, tren ini tidak berlangsung konsisten pada variasi E. Meskipun

densitas menurun sedikit menjadi $1,22 \text{ g/cm}^3$, daya serap air justru naik menjadi 25,49 %. Kenaikan daya serap air ini dapat terjadi karena struktur internal yang terlihat padat secara makro, tetapi tidak sepenuhnya homogen pada tingkat mikro, memungkinkan terbentuknya rongga-rongga kecil yang menyerap air. Jumlah serat yang tidak terdistribusi merata dapat menciptakan jalur pori atau rongga mikro dalam matriks, sehingga meningkatkan daya serap air meskipun densitas tidak terlalu rendah. Selain itu, serbuk cangkang telur dalam jumlah tinggi yang tidak tercampur homogen dapat menimbulkan penggumpalan partikel atau titik lemah dalam struktur, yang memperbesar potensi masuknya air. Dengan kata lain, densitas pada variasi E tidak mencerminkan kepadatan yang merata, tetapi lebih sebagai kerapatan semu karena adanya porositas tersembunyi dalam struktur.

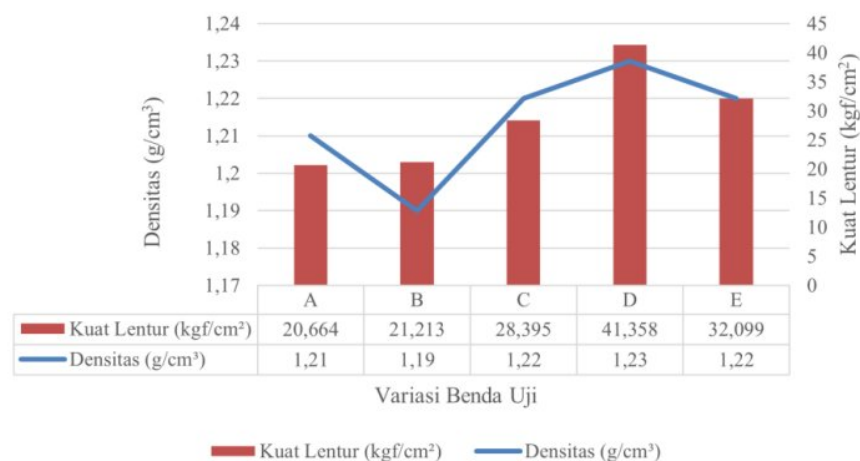
Perilaku ini mendukung temuan Rocha dkk., (2022) yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah serat atau bahan pengisi tidak selalu berdampak positif terhadap sifat fisik material apabila distribusinya tidak homogen atau melebihi ambang batas optimum. Dalam kasus variasi D, meskipun secara kuantitas bahan tambah meningkat, kualitas struktur justru menurun karena peningkatan porositas internal yang tidak terlihat secara kasat mata.

Secara keseluruhan, hubungan antara densitas dan daya serap air dalam plafon *gypsum* dengan penambahan serat daun nanas dan serbuk cangkang telur menunjukkan pola yang tidak linear. Interaksi kompleks antara komposisi, distribusi, dan proporsi bahan tambah menjadi faktor penentu utama terhadap sifat akhir material. Dari Gambar 4.5, variasi D menunjukkan performa paling optimal dalam hal keseimbangan antara densitas dan daya serap air, dengan nilai kerapatan sebesar $1,23 \text{ g/cm}^3$ dan daya serap air terendah yaitu 25,19 %. Hal ini menunjukkan struktur material yang padat, homogen, dan memiliki ketahanan tinggi terhadap air. Sementara itu, variasi B meskipun tidak menunjukkan hubungan paling ideal dalam Gambar ini karena daya serap airnya lebih tinggi dibanding variasi lainnya, yakni sebesar 28,09 %, namun nilainya masih berada di bawah ambang batas maksimum 30% menurut SNI 01-4449-2006. Nilai kerapatannya yang tertinggi, yaitu $1,23 \text{ g/cm}^3$, tetap mencerminkan kepadatan material yang baik. Oleh karena itu, jika ditinjau dari rata-rata hasil pengujian densitas dan daya serap air yang telah dibahas,

variasi D menunjukkan performa keseluruhan terbaik, karena mampu mempertahankan kepadatan material tinggi dengan daya serap yang tetap rendah. Kombinasi bahan pada variasi D dapat dikatakan sebagai komposisi paling unggul sejauh ini dan berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai alternatif material plafon *gypsum* yang berkualitas dan ramah lingkungan.

4.6 Hubungan Kuat Lentur dan Densitas

Dalam analisis sifat mekanis pada plafon *gypsum*, hubungan antara densitas dan kuat lentur merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan. Pada kuat lentur, menggambarkan kemampuan material untuk menahan beban lentur tanpa mengalami kerusakan, sedangkan densitas berkaitan dengan kepadatan susunan partikel dalam material tersebut. Variasi dalam densitas juga dapat memengaruhi distribusi tegangan di dalam material tersebut dan akhirnya dapat memengaruhi performa mekaniknya. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana perubahan densitas dapat berpengaruh terhadap kuat lentur guna menentukan kondisi optimum bagi penggunaan material tersebut. Gambar 4.6 menyajikan data hubungan antara kerapatan dan kuat lentur yang akan dianalisis lebih lanjut.



Gambar 4. 6 Diagram Hubungan Kuat lentur dan Densitas

Berdasarkan pada Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa terdapat hubungan yang cukup jelas antara densitas dengan kuat lentur dari bahan yang telah di uji. Pada awalnya, saat densitas meningkat dari 1,21 g/cm³ menjadi 1,19 g/cm³, nilai kuat lentur juga mengalami kenaikan dari 20,664 kgf/cm² menjadi 21,213 kgf/cm².

Kenaikan tersebut berlanjut hingga mencapai titik optimum pada kerapatan $1,23 \text{ g/cm}^3$, yang dimana kuat lentur pada variasi D meningkat juga dan mencapai angka tertinggi sebesar $41,358 \text{ kgf/cm}^2$. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin padat struktur pada plafon *gypsum*, maka semakin besar pula kemampuannya dalam menahan gaya lentur. Hal ini terjadi karena struktur yang lebih padat memiliki partikel yang tersusun lebih rapat, sehingga lebih sedikit ruang pori di dalam material tersebut. Akibatnya, beban yang diterima dapat tersebar lebih merata ke seluruh bagian plafon *gypsum*, dan gaya yang bekerja tidak mudah menyebabkan kerusakan atau pembengkokan.

Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Koc, (2024) yang menyatakan bahwa adanya hubungan positif antara sifat mekanik (kuat lentur) dengan densitas (kerapatan) pada material *Glassfiber Reinforced Concrete* (GFRC). Dalam penelitian tersebut, peningkatan densitas yang tinggi dapat meningkatkan nilai kuat lentur yang lebih baik juga, karena dengan meningkatnya densitas mampu menyebabkan berkurangnya porositas dan meningkatkan ikatan antar partikel. Namun, penelitian tersebut menekankan bahwa adanya batas optimal, yang dimana ketika semakin adanya penambahan densitas yang berlebihan justru dapat menurunkan efisiensi kekuatan lentur karena perubahan struktur internal.

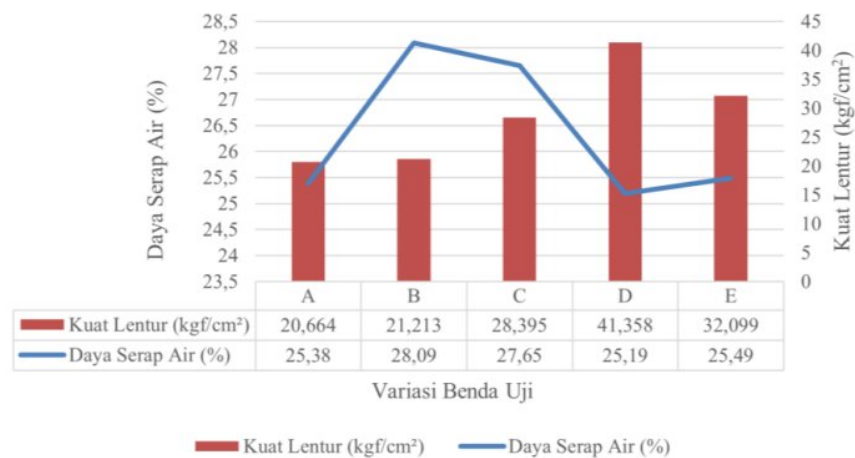
Pada variasi D yang menunjukkan nilai kerapatan sebesar $1,23 \text{ g/cm}^3$, yang dimana pada variasi tersebut nilai optimum tercapai karena nilai kuat lentur berada pada angka tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Setelah melewati nilai optimum, pada variasi E mengalami penurunan densitas menjadi $1,22 \text{ g/cm}^3$, dan nilai kuat lentur ikut turun juga secara signifikan menjadi $32,099 \text{ kgf/cm}^2$. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa plafon *gypsum* dengan densitas lebih rendah cenderung memiliki kekuatan mekanik yang lebih lemah karena banyaknya ruang kosong atau pori di dalamnya, yang membuat material lebih mudah patah atau retak saat diberi tekanan. Dengan kata lain, hubungan antara densitas dan kuat lentur bersifat sebanding hingga titik optimum.

Dalam kaitannya dengan kualitas plafon, hubungan antara kedua sifat tersebut sangat penting untuk dipertimbangkan. Plafon *gypsum* yang dipasang di rumah atau bangunan harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban seperti

tekanan dari atas, getaran, ataupun pemasangan perlengkapan seperti lampu. Jika kuat lenturnya rendah, maka plafon akan melengkung, retak, atau bahkan roboh seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu, untuk menghasilkan plafon *gypsum* yang kuat dan memiliki kualitas yang baik, tidak cukup hanya mempertimbangkan bahan secara umum, tetapi juga perlu memastikan bahwa bahan tersebut memiliki kerapatan yang optimum untuk mendapatkan kuat lentur yang tinggi. Dengan demikian, plafon akan lebih kokoh, tahan lama, dan aman digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan.

4.7 Hubungan Kuat Lentur dan Daya Serap Air

Dalam evaluasi performa mekanis plafon *gypsum*, hubungan antar kuat lentur dan daya serap air menjadi salah satu parameter utama yang perlu diperhatikan. Kuat lentur menunjukkan seberapa besar beban lentur yang dapat ditahan material sebelum mengalami kerusakan, sementara daya serap mengindikasikan tingkat kemampuan material untuk menyerap kelembapan dari lingkungan sekitarnya. Pada material komposit yang dimodifikasi dengan serat daun nanas dan serbuk cangkang telur, interaksi antar kedua sifat ini menjadi semakin kompleks. Serat daun nanas yang bersifat menyerap air dapat meningkatkan kelembapan internal, sedangkan serbuk cangkang telur berfungsi menurunkan porositas dan menghambat penyerapan air. Peningkatan daya serap air umumnya berbanding terbalik dengan kekuatan lentur karena melemahnya ikatan matriks dalam semen akibat adanya air. Oleh karena itu, penting memahami bagaimana variasi daya serap air memengaruhi kuat lentur untuk menghasilkan material plafon *gypsum* yang optimum. Gambar 4.7 menyajikan hubungan antara daya serap air dan kuat lentur yang akan dibahas lebih lanjut.



Gambar 4. 7 Hubungan Kuat Lentur dan Daya Serap Air

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara kuat lentur dengan daya serap air pada plafon *gypsum* dengan penambahan serat daun nanas dan substitusi parsial serbuk cangkang telur. Dapat dilihat bahwa nilai kuat lentur tertinggi dicapai oleh variasi D sebesar 41,358 kgf/cm², diperoleh pada saat nilai daya serap berada pada 25,19 %. Namun, ketika daya serap air meningkat menjadi 25,49 %, nilai kuat lentur pada variasi E justru menurun menjadi 32,099 kgf/cm². Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya hubungan negatif antara daya serap air dan kuat lentur. Semakin tinggi daya serap air, maka semakin rendah kemampuan plafon *gypsum* untuk menahan beban lentur. Pola tersebut menunjukkan bahwa air yang masuk ke dalam pori-pori material dapat melemahkan ikatan internalnya. Kesamaan fenomena tersebut terlihat dalam penelitian Bone dkk., (2022) yang menemukan bahwa terjadi peningkatan kadar air dalam komposit berbahan karbon/epoksi yang menyebabkan adanya penurunan modulus lentur sebesar 14% dan kekuatan lentur sebesar 20%. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa penurunan tersebut terjadi akibat air yang merusak ikatan antara serat dan resin, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan struktur material secara keseluruhan. Temuan ini mendukung hasil dari Gambar 4.7 dan menguatkan bahwa penyerapan air merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi performa mekanik pada material komposit, tidak hanya pada material berbasis serat, tetapi juga pada material rekayasa tinggi seperti serat karbon.

Penelitian lain turut memperkuat hubungan antara daya serap air dan

penurunan kuat lentur. Penelitian yang dilakukan oleh Anwar dkk., (2022), mengenai pembuatan papan komposit berbahan dasar serbuk kayu dan serbuk ban menemukan bahwa semakin tinggi daya serap air, maka semakin rendah kekuatan lenturnya. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya porositas material yang tinggi, sehingga lebih mudah menyerap air dan menurunkan stabilitas ikatan internal. Kondisi tersebut menyebabkan material menjadi rapuh dan rentan patah saat menerima beban, khususnya pada aplikasi luar ruangan yang sering terpapar kelembapan atau genangan air.

Berdasarkan grafik, setiap variasi menunjukkan karakteristik hubungan yang unik. Variasi A sebagai kontrol memiliki nilai kuat lentur 20,664 kgf/cm² dengan daya serap air 25,38 %. Ketika material ditambah 6% serat daun nanas dan 7,5% serbuk cangkang telur pada variasi D, kuat lentur meningkat menjadi 41,358 kgf/cm² dan daya serap air justru menurun menjadi 25,19 %, menunjukkan kondisi optimum di mana ikatan antar partikel menjadi lebih baik dan struktur menjadi lebih padat. Variasi B (6% SDN:2,5% SCT) menunjukkan kuat lentur sebesar 21,213 kgf/cm², namun menariknya daya serap air justru lebih tinggi dibanding variasi A, yakni 28,09 %. Fenomena ini dapat terjadi karena meskipun variasi B memiliki struktur internal yang kuat dan padat secara mekanik, kemungkinan terdapat pori-pori mikro kecil yang tidak signifikan terhadap kekuatan, namun masih mampu menyerap air. Hal ini bisa disebabkan oleh peningkatan volume partikel serbuk cangkang telur yang tidak sepenuhnya terikat sempurna dalam tepung *gypsum*, namun masih mempertahankan integritas struktural yang tinggi. Oleh karena itu, pada variasi D (6% SDN:7,5% SCT), daya serap airnya paling rendah dan distribusi beban tetap baik sehingga kuat lenturnya tetap maksimal.

Sebaliknya, pada variasi E, terjadi penurunan kuat lentur menjadi 32,099 kgf/cm², bersamaan dengan peningkatan daya serap air menjadi 25,49%. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi serat daun nanas sebanyak 6% dan serbuk cangkang telur sebesar 10% mulai memasuki kondisi berlebih (kelebihan proporsi), menyebabkan porositas meningkat, distribusi partikel menjadi tidak merata, dan ikatan antar partikel melemah. Akibatnya, meskipun material terlihat padat, benda uji tersebut menjadi lebih mudah menyerap air dan lebih rentan terhadap gaya lentur.

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa daya serap air adalah salah satu faktor utama yang memengaruhi kuat lentur plafon *gypsum*. Untuk mempertahankan kuat lentur yang tinggi, sangat penting untuk mengurangi kemampuan material dalam menyerap air. Variasi D menunjukkan efisiensi terbaik dalam hubungan ini, serta variasi D menunjukkan performa tertinggi dari sisi kekuatan lentur. Oleh karena itu, variasi D tetap dianggap sebagai komposisi paling unggul jika ditinjau dari rata-rata keseluruhan performa material dalam keempat pengujian, yaitu kerapatan, daya serap air, pengembangan tebal, dan kuat lentur.

4.8 Analisa Perbandingan Biaya

Biaya per meter persegi untuk pembuatan langit-langit *gypsum* konvensional dan plafon *gypsum* yang dibuat dari bubuk cangkang telur dan daun nanas dibandingkan dalam studi ini. Harga yang digunakan untuk menentukan biaya yang dikeluarkan untuk masing-masing jenis plafon *gypsum* tercantum dalam Tabel berikut.

Harga satuan Serat Daun Nanas (SDN) dan Serbuk Cangkang Telur (SCT) adalah 0 (nol), karena memanfaatkan limbah SDN dan SCT serta biaya *pre – treatment* tidak dihitung. Rincian harga kebutuhan benda uji diuraikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Rincian Harga

Panjang x Lebar x Tebal Benda Uji (cm)	Kebutuhan Benda Uji 240 x 120 x 0,9 cm ³	Harga Tepung <i>Gypsum</i> Elephant (/gr)	Harga Air (/ltr)	Harga Serat Daun Nanas (/gr)	Harga Serbuk Cangkang Telur (/gr)
15 x 10 x 0,9	192 buah	Rp.2,00	-	-	-

a. Plafon *Gypsum* Variasi A Konvensional

Perbedaan Plafon *gypsum* A adalah plafon konvensional yang terbuat sepenuhnya dari *gypsum*. Biaya yang terkait dengan produksi plafon *gypsum* jenis A ditampilkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Harga Produksi Plafon *Gypsum* Variasi A

Plafon <i>Gypsum</i> Variasi A					
No.	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1.	Tepung <i>Gypsum</i> Elephant	160	gr	2,00	320,00
2.	Air Keran	104	ml	-	-
Total Biaya Per Benda Uji					Rp 320,00
Total Biaya Ukuran 240 x 120 x 0,9 cm ³					Rp 61.440

Kesimpulan dari Tabel 4.6 di atas adalah biaya yang dikeluarkan untuk membuat satu plafon variasi A berukuran 15 cm x 10 cm x 0,9 cm adalah Rp 320,00. Biaya untuk membuat plafon *gypsum* ukuran 240 x 120 x 0,9 cm³ adalah Rp 61.440,00.

b. Plafon *Gypsum* Variasi B

Plafon *gypsum* variasi B merupakan plafon konvensional yang pembuatannya menggunakan serat daun nanas 6% dan serbuk cangkang telur 2,5%. Berikut Tabel 4.7 merupakan biaya untuk membuat plafon *gypsum* variasi B.

Tabel 4. 7 Harga Produksi Plafon *Gypsum* Variasi B

Plafon <i>Gypsum</i> Variasi B					
No.	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1.	Tepung <i>Gypsum</i> Elephant	146,4	gr	2,00	292,80
2.	Air Keran	95,16	ml	-	-
3.	Serat Daun Nanas	9,6	gr	-	-
4.	Serbuk Cangkang Telur	4	gr	-	-
Total Biaya Per Benda Uji					Rp 292,80
Total Biaya Ukuran 240 x 120 x 0,9 cm ³					Rp 56.217,60

Kesimpulan dari Tabel 4.7 di atas adalah biaya untuk pembuatan satu plafon variasi B berukuran 15 cm x 10 cm x 0,9 cm Rp 292,80. Biaya pembuatan plafon *gypsum* ukuran 240 x 120 x 0,9 cm³ variasi B adalah Rp 56.217,60.

c. Plafon *Gypsum* Variasi C

Plafon *gypsum* variasi C merupakan plafon konvensional yang pembuatannya menggunakan serat daun nanas 6% dan serbuk cangkang telur 5%. Berikut Tabel 4.8 merupakan biaya untuk pembuatan plafon *gypsum* variasi C.

Tabel 4. 8 Harga Produksi Plafon *Gypsum* Variasi C

Plafon <i>Gypsum</i> Variasi C					
No.	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1.	Tepung <i>Gypsum</i> Elephant	142,4	gr	2,00	284,80
2.	Air Keran	92,56	ml	-	-
3.	Serat Daun Nanas	9,6	gr	-	-
4.	Serbuk Cangkang Telur	8	gr	-	-
Total Biaya Per Benda Uji					Rp 284,80
Total Biaya Ukuran 240 x 120 x 0,9 cm ³					Rp 54.681,60

Kesimpulan dari Tabel 4.8 di atas adalah biaya untuk pembuatan satu plafon variasi C berukuran 15 cm x 10 cm x 0,9 cm Rp 284,80. Biaya pembuatan plafon *gypsum* ukuran 240 x 120 x 0,9 cm³ variasi C adalah Rp 54.681,60.

d. Plafon *Gypsum* Variasi D

Plafon *gypsum* variasi D merupakan plafon konvensional yang pembuatannya menggunakan serat daun nanas 6% dan serbuk cangkang telur 7,5%. Berikut Tabel 4.9 merupakan biaya pembuatan plafon *gypsum* variasi D.

Tabel 4. 9 Harga Produksi Plafon *Gypsum* Variasi D

Plafon <i>Gypsum</i> Variasi D					
No.	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1.	Tepung <i>Gypsum</i> Elephant	138,4	gr	2,00	276,80
2.	Air Keran	89,96	ml	-	-
3.	Serat Daun Nanas	9,6	gr	-	-
4.	Serbuk Cangkang Telur	12	gr	-	-
Total Biaya Per Benda Uji					Rp 276,80
Total Biaya Ukuran 240 x 120 x 0,9 cm ³					Rp 53.145,60

Kesimpulan dari Tabel 4.9 di atas adalah biaya pembuatan satu plafon variasi D berukuran 15 cm x 10 cm x 0,9 cm Rp 276,80. Biaya pembuatan plafon *gypsum* ukuran 240 x 120 x 0,9 cm³ variasi D adalah Rp 53.145,60.

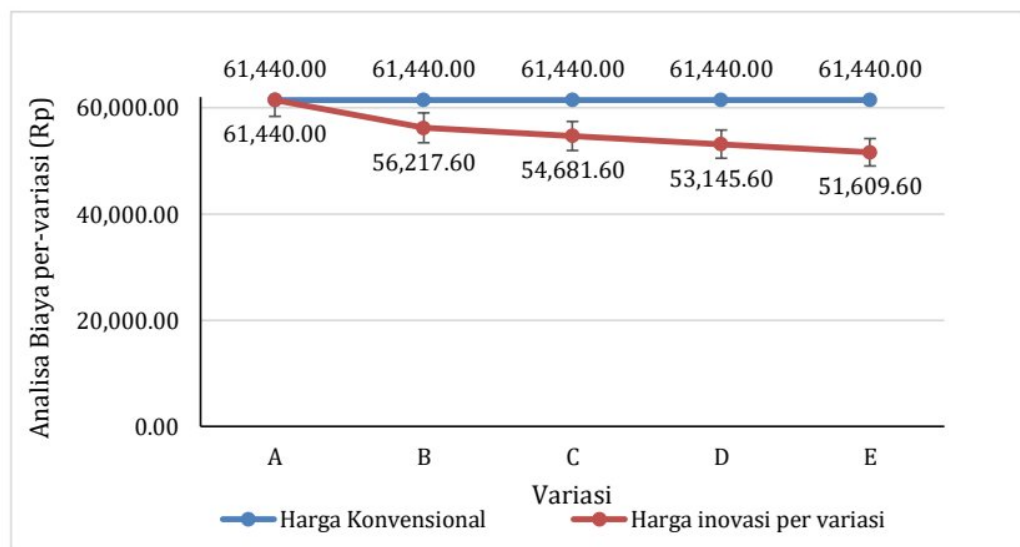
e. Plafon *Gypsum* Variasi E

Plafon *gypsum* variasi E merupakan plafon konvensional yang pembuatannya menggunakan serat daun nanas 6% dan serbuk cangkang telur 10%. Berikut Tabel 4.10 merupakan biaya plafon *gypsum* variasi E.

Tabel 4. 10 Harga Produksi Plafon *Gypsum* Variasi E

Plafon <i>Gypsum</i> Variasi E					
No.	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1.	Tepung <i>Gypsum</i> Elephant	134,4	gr	2,00	268,80
2.	Air Keran	87,36	ml	-	-
3.	Serat Daun Nanas	9,6	gr	-	-
4.	Serbuk Cangkang Telur	16	gr	-	-
Total Biaya Per Benda Uji					Rp 268,80
Total Biaya Ukuran 240 x 120 x 0,9 cm ³					Rp51.609,60

Kesimpulan dari Tabel 4.10 di atas adalah biaya pembuatan plafon *gypsum* variasi E berukuran 15 cm x 10 cm x 0,9 cm Rp 268,80. Biaya pembuatan plafon *gypsum* ukuran 240 x 120 x 0,9 cm³ variasi E adalah Rp 51.609,60.



Gambar 4. 8 Grafik Analisa Perbandingan Biaya

4.9 Rekap Hasil Pengujian dan Analisa Biaya

Hasil keseluruhan dari 15 benda uji menunjukkan nilai sifat fisik dan mekanik pada plafon *gypsum* dapat dipengaruhi oleh serat daun nanas dan serbuk cangkang telur. Pengujian yang dilakukan 15 benda uji tersebut adalah pengujian densitas, daya

serap air, pengembangan tebal, dan kuat lentur yang mengacu pada SNI 01-4449-2006 sebagai parameter keberhasilan. Harga Satuan Dasar (HSD) yang berlaku di Kota Semarang, tempat penelitian dilakukan, menjadi dasar untuk analisis biaya yang diperlukan untuk membangun plafon *gypsum*. Berikut hasil Tabel 4.11 keseluruhan pengujian yang telah dilakukan pada setiap variasi:

Tabel 4. 11 Rekap Hasil Pengujian dan Analisa Biaya

Pengujian	Variasi Benda Uji					SNI 01- 4449- 2006
	A 0% SDN; 0% SCT	B 6% SDN; 2,5% SCT	C 6% SDN; 5% SCT	D 6% SDN; 7,5% SCT	E 6% SDN; 10% SCT	
Densitas (g/cm ³)	1,21	1,19	1,22	1,23	1,22	> 0,84 gr/cm ³
Daya Serap Air (%)	25,38	28,09	27,65	25,19	25,49	< 30%
Kuat Lentur (kgf/cm ²)	20,664	21,213	28,395	41,358	32,099	< 20 kgf/cm ²
Pengembang an Tebal (%)	3,07	3,03	2,89	2,81	2,85	± 10%.
Analisa Biaya Benda Uji	Rp 320,00	Rp 292,80	Rp 284,80	Rp 276,80	Rp 268,80	Benda Uji 15 x 10 cm
Analisa Biaya Benda Uji	Rp 61.440,0 0	Rp 56.217,6 0	Rp 54.681,6 0	Rp 53.145,6 0	Rp 51.609,6 0	240 x 120 x 0,9cm ³

Sumber: Pribadi

Keterangan:

SDN : Serat Daun Nanas

SCT : Serbuk Cangkang Telur

Variasi Terbaik : Variasi D

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis, mekanis, serta analisis biaya pada plafon *gypsum* dengan variasi komposisi bahan, yaitu variasi A (0% SDN; 0% SCT), variasi B (6% SDN; 2,5% SCT), variasi C (6% SDN; 5% SCT), variasi D (6% SDN; 7,5% SCT), dan variasi E (6% SDN; 10% SCT), diperoleh perbedaan karakteristik

pada masing-masing benda uji. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan persyaratan mutu yang tercantum dalam SNI 01-4449-2006.

Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa variasi A memiliki nilai densitas sebesar 1,21 g/cm³, variasi B sebesar 1,19 g/cm³, variasi C sebesar 1,22 g/cm³, variasi D sebesar 1,23 g/cm³, dan variasi E sebesar 1,22 g/cm³. Nilai densitas pada seluruh variasi tersebut telah memenuhi persyaratan SNI, yaitu lebih besar dari 0,84 g/cm³. Variasi D menghasilkan nilai densitas tertinggi, yang menunjukkan bahwa komposisi 6% serat daun nanas dan 7,5% serbuk cangkang telur mampu membentuk struktur material yang lebih padat dibandingkan variasi lainnya.

Pengujian daya serap air menunjukkan bahwa variasi A memiliki daya serap air 25,38%, variasi B 28,09%, variasi C 27,65%, variasi D 25,19%, dan variasi E 25,49%. Seluruh nilai tersebut berada di bawah batas maksimum daya serap air menurut SNI, yaitu 30%. Variasi D memiliki nilai daya serap air terendah, yang mengindikasikan bahwa penambahan serbuk cangkang telur sebesar 7,5% memberikan pengaruh paling efektif dalam menurunkan tingkat penyerapan air pada plafon *gypsum*.

Hasil pengujian kuat lentur menunjukkan bahwa variasi A memiliki kuat lentur 20,664 kgf/cm², variasi B 21,213 kgf/cm², variasi C 28,395 kgf/cm², variasi D 41,358 kgf/cm², dan variasi E 32,099 kgf/cm². Seluruh variasi telah memenuhi persyaratan kuat lentur minimum berdasarkan SNI, yaitu sebesar 20 kgf/cm². Variasi D menunjukkan nilai kuat lentur tertinggi, yang mengindikasikan bahwa kombinasi serat daun nanas dan serbuk cangkang telur pada variasi tersebut memberikan kontribusi optimal dalam meningkatkan kekuatan lentur material.

Pengujian pengembangan tebal menunjukkan bahwa variasi A memiliki nilai pengembangan tebal 3,07%, variasi B 3,03%, variasi C 2,89%, variasi D 2,81%, dan variasi E 2,85%. Seluruh variasi berada dalam batas toleransi pengembangan tebal yang diizinkan oleh SNI, yaitu $\pm 10\%$. Variasi D kembali menunjukkan nilai terendah, yang menandakan bahwa variasi ini memiliki stabilitas dimensi yang paling baik terhadap pengaruh air dan kelembaban.

Berdasarkan analisis biaya produksi, diketahui bahwa biaya pembuatan per benda uji berukuran 15 × 10 cm untuk variasi A sebesar Rp 320,00, variasi B

sebesar Rp 292,80, variasi C sebesar Rp 284,80, variasi D sebesar Rp 276,80, dan variasi E sebesar Rp 268,80. Sementara itu, biaya produksi ukuran 240 x 120 x 0,9 cm³ untuk variasi A sebesar Rp 61.440,00, variasi B sebesar Rp 56.217,60, variasi C sebesar Rp 54.681,60, variasi D sebesar Rp 53.145,60, dan variasi E sebesar Rp 51.609,60. Meskipun variasi E memiliki biaya terendah, variasi D dinilai lebih optimal karena memberikan hasil pengujian yang lebih baik dan efisiensi biaya.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, disimpulkan seluruh variasi plafon *gypsum*, yaitu variasi A hingga variasi E, memenuhi persyaratan SNI 01-4449-2006. Variasi D komposisi 6% serat daun nanas dan 7,5% serbuk cangkang telur merupakan variasi terbaik karena menghasilkan densitas tertinggi, daya serap air terendah, kuat lentur tertinggi, pengembangan tebal terendah, serta biaya produksi yang relatif efisien. Oleh karena itu, variasi D direkomendasikan sebagai komposisi optimal dalam pengembangan plafon *gypsum* ramah lingkungan berbasis pemanfaatan limbah serat daun nanas dan serbuk cangkang telur.