

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bahan Sampel

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan sampel dengan bahan organik dari buah kelapa sawit. Penelitian ini menggunakan pelepah kelapa sawit sebagai *filler* dari papan partikel komposit dan dipadukan dengan penguat dari serat mesokarp kelapa sawit dengan matriks penguat berupa *poly-vinyl acetat* (PVAc) dan resin epoxy. Pembuatan sampel uji memerlukan pencampuran yang sesuai dengan kerapatan bahannya. Berikut merupakan persentase yang dibutuhkan dan densitas dari setiap komponen penyusun papan partikel yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Persentase dan densitas bahan

No.	Bahan	Persentase (%)	Densitas (gr/cm ³)
1.	Pelepah Kelapa Sawit	50	0,28
2.	Serat Mesokarp	15	0,16
3.	<i>Poly Vinyl Acetat</i>	25	1,07
4.	Resin Epoxy	10	1,10

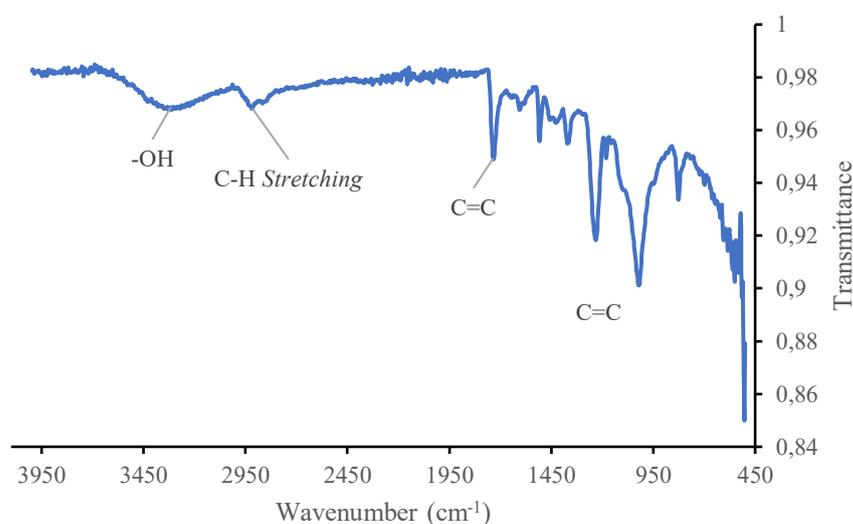
Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan sampel untuk dua pengujian, yaitu pengujian fisis dan pengujian mekanis. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengujian fisis dan dilanjut dengan pengujian mekanis. Pengujian fisis yang dilakukan berupa pengujian densitas/kerapatan dan pengujian kadar air. Pengujian mekanis yang dilakukan berupa pengujian kekerasan (*hardness*), kekuatan lentur (*modulus of elasticity and modulus of rupture*) dan pengujian *fourier transform infrared* (FTIR). Pembuatan sampel pengujian dilakukan dengan menggunakan cetakan dengan ukuran 14 x 5 x 1,5 cm dengan total volume sebesar 105 cm³. Penelitian ini menggunakan bahan penyusun yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel papan partikel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Penyusun bahan sampel uji

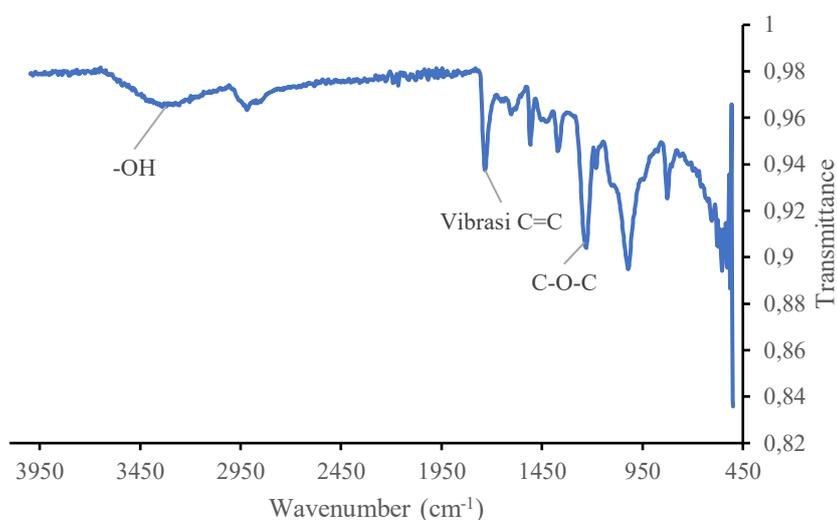
No.	Bahan	Persentase (%)	Hasil (gr)
1.	Pelepah	50%x105x0,28	14,70
2.	Serat Mesokarp	15%x105x0,16	2,52
3.	PVAc	25%x105x1,07	28,09
4.	Resin Epoxy	10%x105x1,1	11,55
Jumlah		100	56,86

4.2 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier transform infrared merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk menganalisa fungsi senyawa dari suatu material menggunakan serapan sinar inframerah yang diserap dari suatu senyawa. Pola sinar inframerah yang diterima setiap senyawa memiliki pola yang berbeda beda sehingga dapat dibedakan dan diklasifikasikan. Pengujian *fourier transform infrared* menggunakan interaksi kimia antar matriks dan penguat pada papan partikel untuk analisa. *Fourier transform infrared* menunjukkan ikatan kimia, perubahan kimia dan reaksi pada susunan ikatan komposit. Pengujian FTIR dilakukan dengan 3 variasi sampel A, B dan C yang diberikan pemaparan panas masing-masing dengan suhu 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam. Hasil pengujian *fourier transform infrared* sampel A, sampel B dan sampel C ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3.

**Gambar 4.1** Grafik FTIR papan partikel sampel A

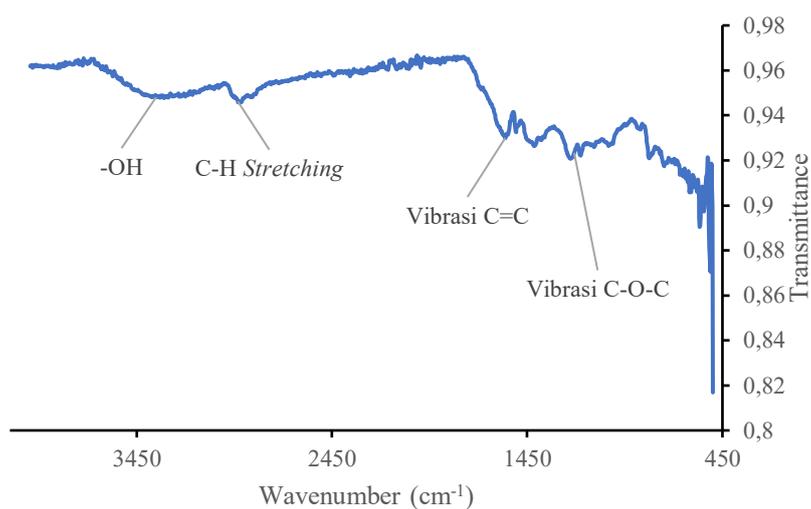
Berdasarkan hasil pengujian FTIR sampel A pada Gambar 4.1 menunjukkan area dimana papan partikel dapat dianalisa. Area 3500-3200 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus -OH, adanya gugus fungsi -OH menandakan bahwa terdapat selusosa/resin berbasis bio. Area 3000-2800 cm^{-1} terdapat C-H *stretching* alkana menandakan adanya polimer dan selulosa sehingga meningkatkan fleksibilitas material dan ketahanan terhadap benturan. Area 1750-1650 cm^{-1} menunjukkan terdapat gugus karbonil C=O terdapat interaksi antara resin/perekat dalam papan partikel sehingga memberikan kekakuan mekanik pada papan. Area 1600-1500 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=C terdapat *bending* N-H, menunjukkan papan terjadi peningkatan kekuatan mekanik dan stabilitas termal. Area 1000-800 cm^{-1} menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan struktural material [32].



Gambar 4.2 Grafik FTIR papan partikel sampel B

Hasil pengujian FTIR sampel B yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, puncak lebar pada area 3319 cm^{-1} terdapat gugus fungsi -OH menandakan bahwa material memiliki sifat higroskopis (mudah menyerap air). Puncak di area 2918-1848 cm^{-1} terdapat getaran gugus fungsi C-H menunjukkan bahwa papan partikel memiliki kandungan resin polimer. Hal ini menunjukkan papan partikel memiliki ketahanan terhadap benturan. Puncak tajam pada area 1733 cm^{-1} terdapat getaran C=O, menunjukkan resin memperkuat sifat mekanik dan ketahanan kimia papan partikel. Puncak pada area 1603-1581 cm^{-1}

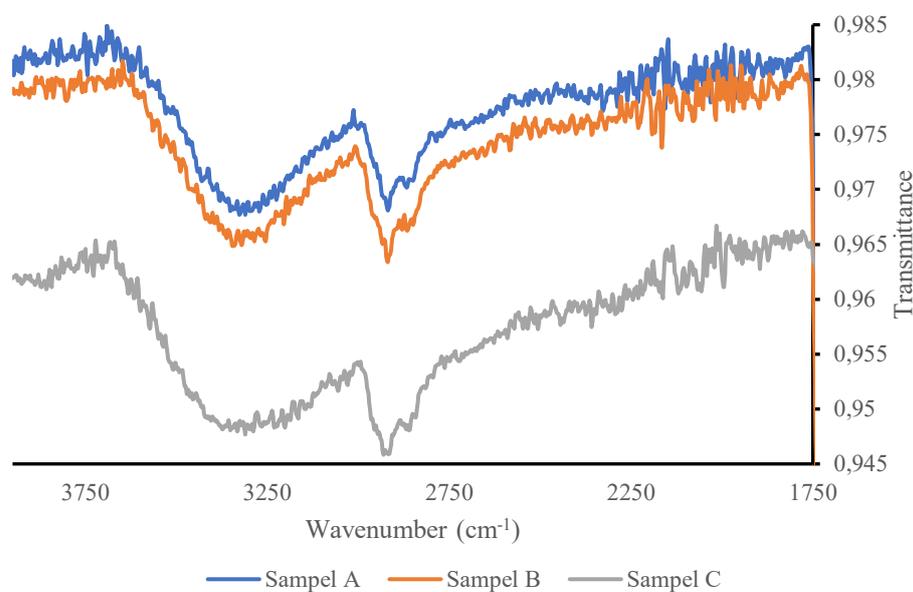
menunjukkan terdapat vibrasi C=C struktur aromatik lignin/resin, dimana dengan diberikannya paparan panas sebesar 150°C meningkatkan kekuatan mekanik tambahan dan menunjukkan papan partikel memiliki stabilitas terhadap panas. Area 1230-1021 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O-C *stretching* ikatan ester menyebabkan kontribusi pada kekuatan tarik papan. Area pada puncak 944-826 cm^{-1} menunjukkan adanya *out of plane bending* sehingga terbentuk struktur aromatik resin memberikan peningkatan ketahanan terhadap retak pada material dan memperlambat penyebaran keretakan pada papan [32].



Gambar 4.3 Grafik FTIR papan partikel sampel C

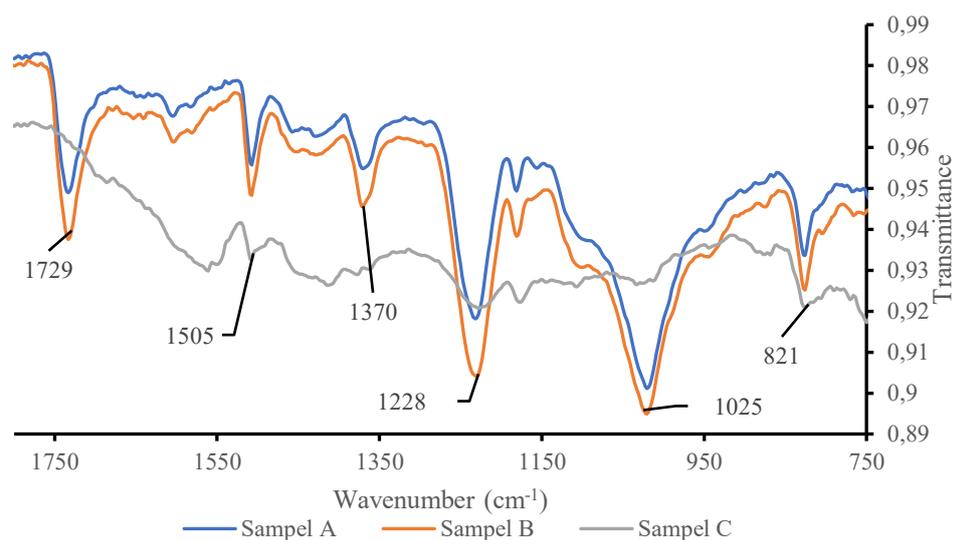
Hasil pengujian FTIR sampel C yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, puncak ada area 3310 cm^{-1} menunjukkan terdapat gugus fungsi -OH *stretching* menunjukkan bahwa papan partikel bersifat higroskopis (mudah menyerap air). Area 2922-2868 cm^{-1} menunjukkan terdapat gugus fungsi C-H *stretching* terdapat sedikit sifat elastisitas pada papan dan menunjukkan adanya peningkatan *toughness*/ketahanan terhadap benturan. Area 1561-1508 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C=C sehingga memberikan kekakuan struktural pada papan dan papan menunjukkan kestabilan panas. Area puncak 1227-1032 cm^{-1} terdapat vibrasi C-O-C menunjukkan adanya ikatan antar serat dan resin sehingga meningkatkan penyebaran beban secara merata. Area puncak 875-749 cm^{-1} menunjukkan vibrasi *out of plane bending* C-H dimana

terdapat resistansi terhadap retakan, dan menunjukkan adanya ketahanan terhadap kegagalan struktural [32].



Gambar 4.4 Grafik FTIR *wavenumber* 3750-1750 cm⁻¹

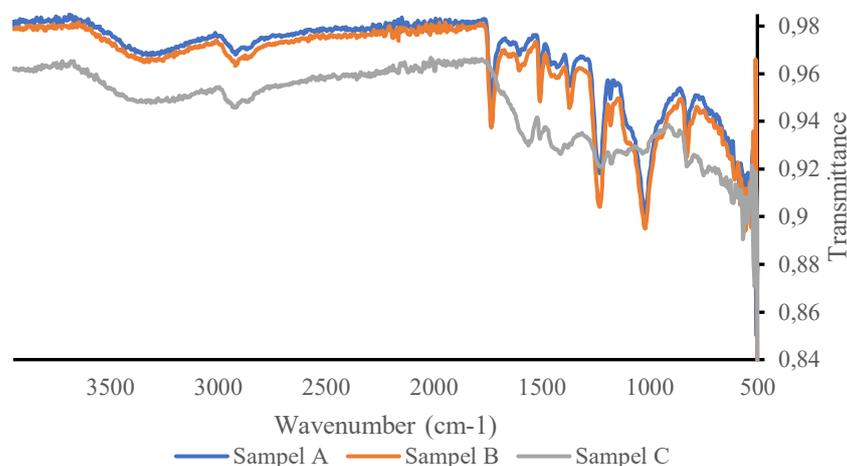
Grafik FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara sampel A,B dan C. Daerah 3500-1750 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi O-H (hidroksil). Daerah ini merupakan wilayah regangan (*stretching*). Sampel A memiliki nilai *transmittance* paling tinggi dibandingkan sampel B dan C. Hal ini menunjukkan struktur kimia pada sampel A stabil dan tidak mengalami degradasi. Sampel C yang memiliki nilai *transmittance* paling rendah menunjukkan adanya pemecahan ikatan atom akibat degradasi termal. Area 3500-3200 cm⁻¹ menunjukkan adanya penurunan grafik pada sampel C terjadi penurunan gugus hidroksil (O-H) akibat paparan suhu tinggi pada sampel. Area 3000-2800 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan C-H serta terjadi pelemahan pada sampel C akibat adanya dekomposisi komponen organik (selulosa dan lignin) pada material. Area 2350-2100 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi volatil, yang berkurang akibat paparan panas suhu tinggi pada sampel.



Gambar 4.5 Grafik FTIR *wavenumber* 1750-750 cm⁻¹

Grafik FTIR pada Gambar 4.5 menunjukkan pada area 1729 cm⁻¹ adanya puncak grafik yang signifikan antara sampel A,B dan C. Sampel A mengalami penguatan ikatan C=C *stretching* terdapat keberadaan struktur aromatik pada resin berbasis aromatic dan menyebabkan peningkatan kekuatan mekanik dikarenakan cincin aromatik memberikan struktur kaku pada material. Sementara pada sampel C tidak mengalami peningkatan grafik FTIR. Area 1505 dan 1370 cm⁻¹ menunjukkan adanya peningkatan kekuatan mekanik sampel A dan B ditunjukkan dengan adanya ikatan C=C. Sampel C menunjukkan adanya vibrasi pada ikatan C=C aromatik sehingga kekakuan struktural dan stabilitas panas pada sampel meningkat. Area 1228 cm⁻¹ menunjukkan puncak grafik yang tinggi pada sampel A dan B dengan adanya ikatan C-O-C *stretching* dari resin dan menyebabkan peningkatan kekuatan tarik yang lebih serta terdapat reaksi antara serat dengan matriks pada papan partikel. Pada sampel C terdapat reaksi antara serat dan resin sehingga mendukung penyebaran beban antara matriks dan serat. Area 1025 cm⁻¹ menunjukkan adanya peningkatan puncak grafik yang signifikan pada sampel A dan B. Sampel A mengalami peningkatan kekuatan struktural material dan sampel B mengalami ketahanan terhadap retak ditandai dengan adanya *out of plane bending* pada grafik FTIR. Area 821 cm⁻¹ sampel C menunjukkan peningkatan grafik dikarenakan adanya vibrasi *out of plane bending* C-H,

dimana menunjukkan adanya resistansi terhadap retak pada material sehingga papan lebih tahan terhadap kegagalan struktural. Sampel C yang diberikan paparan panas 250°C mengalami pelemahan ikatan karena suhu tinggi, hal ini dibuktikan dengan uji mekanik *modulus of rupture* yang dilakukan. Suhu 250°C menyebabkan pelemahan ikatan pada material ditandai dengan analisa FTIR sampel C pada area 1228-1024 cm^{-1} .



Gambar 4.6 Grafik FTIR papan partikel

Tabel 4.3 FTIR papan partikel

<i>Wavenumber</i> (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Interpretasi Hasil
3400-3300	-OH (Hidroksil) <i>stretch</i>	Penurunan intensitas gugus hidroksil akibat degradasi termal
2920-2850	-CH ₂ / -CH ₃	Penurunan intensitas pada sampel C
1750-1735	C=O (PVAc)	Pelemahan ikatan pada sampel C
1600	C=C <i>aromatic</i> / <i>stretching vibration</i>	Terlihat pada ketiga sampel, menunjukkan adanya kestabilan pada sampel.
1400-1375	-CH <i>bending</i> / C-H	Penurunan ikatan pada sampel C
1250-1020	C-O <i>stretching</i>	Terjadi degradasi PVAc dan lignin selulosa
870-700	C-H <i>aromatic out of plane bending</i>	Terdapat pada ketiga sampel

Hasil dari analisa *fourier transform infrared* menunjukkan bahwa papan partikel sampel A, B dan C terjadi perubahan seiring dengan pemaparan panas yang dilakukan. Papan partikel penelitian ini merupakan papan partikel yang bersifat higroskopis dimana dapat dengan mudah menyerap air, hal ini ditunjukkan dengan adanya ikatan -OH pada ketiga sampel A,B dan C. Pemaparan panas pada papan partikel terbukti meningkatkan sifat mekanik dengan pemberian suhu panas 50-150°C. Sampel A yang diberikan pemaparan panas 50°C terjadi peningkatan fleksibilitas dan ketahanan benturan. Berdasarkan pengujian FTIR juga menunjukkan bahwa sampel A terjadi peningkatan kekuatan mekanik dan stabilitas termal serta peningkatan kekuatan struktural akibat paparan panas. Sampel B yang diberikan paparan panas 150°C menunjukkan adanya peningkatan pada kekuatan tarik papan, peningkatan nilai *modulus of elasticity* pada area 1733 cm⁻¹, dan peningkatan kekuatan mekanik serta ketahanan terhadap retak. Sampel C yang diberikan paparan panas 250°C menunjukkan adanya penyebaran beban dan kekuatan tambahan terhadap resistansi retak. Hal ini menunjukkan bahwa pemaparan panas yang optimal meningkatkan kekuatan mekanik pada material. Suhu optimal tersebut berada pada suhu 100-160°C [22]. Penelitian ini pun menunjukkan terjadi degradasi bahan organik pada papan partikel sampel C dimana terjadi penurunan kualitas pada sampel C ditandai dengan menurunnya nilai *modulus of rupture* dan menurunnya nilai kekerasan. Hal ini didukung dengan penelitian yang dilakukan Sunardi [5] dimana terjadi degradasi pada papan partikel yang diberikan pemaparan panas dengan suhu tinggi.

4.3 Densitas

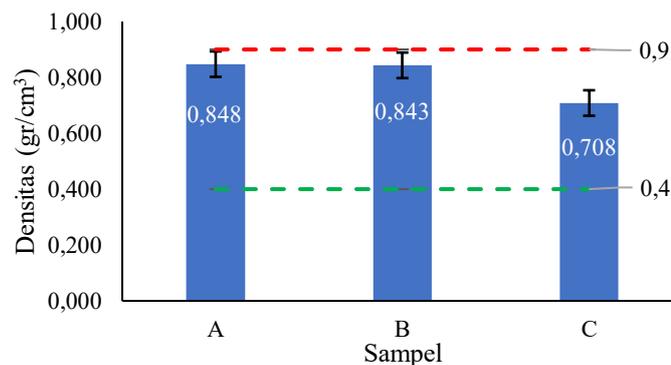
Pengujian densitas atau kerapatan dilakukan pada papan partikel yang telah dibuat dengan melakukan perbandingan nilai massa dan volume papan partikel. Volume dari papan partikel didapatkan dengan melakukan pengukuran menggunakan jangka sorong dan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai volume. Massa papan partikel didapatkan berdasarkan pengukuran yang dilakukan menggunakan neraca digital, setelah didapatkan

nilai massa dan volume dari papan partikel, lalu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.1. Nilai dari densitas setiap sampel ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian densitas

		Densitas				
Sampel		Massa (gr)	Volume (cm ³)	Hasil (gr/cm ³)	Rata-Rata	Standar Deviasi
A	A1	8,15	8,169	0,998	0,848	0,146
	A2	5,95	7,093	0,839		
	A3	8,21	11,626	0,706		
B	B1	8,13	9,394	0,865	0,843	0,044
	B2	6,6	7,566	0,872		
	B3	8,22	10,378	0,792		
C	C1	5,98	8,252	0,725	0,708	0,026
	C2	6,24	9,204	0,678		
	C3	4,88	6,754	0,723		

Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 yang membahas tentang papan partikel, nilai kerapatan/densitas berkisar 0,4 gr/cm³ – 0,9 gr/cm³. Pengujian densitas yang telah dilakukan menunjukkan nilai densitas terbesar terdapat pada sampel A1 sebesar 0,998 gr/cm³ dimana dilakukan pemaparan panas pada papan partikel sebesar 50°C selama 1 jam. Nilai densitas terkecil ditunjukkan pada sampel C2 sebesar 0,678 gr/cm³ dimana dilakukan pemaparan panas pada papan partikel sebesar 250°C selama 1 jam. Berdasarkan hasil rata-rata ketiga variasi sampel A (Pemaparan Panas 50°C), B (Pemaparan Panas 150°C) dan C (Pemaparan Panas 250°C) memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Pengujian densitas yang dilakukan menunjukkan penurunan nilai pada papan partikel, hal ini disebabkan karena terdapat kerusakan material organik yang terjadi pada struktural papan partikel. Kerusakan material organik ini terjadi secara konstan seiring dengan kenaikan suhu paparan panas yang diberikan pada tiap sampel. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Arinda dkk. [33]. Pengujian densitas yang telah dilakukan dibuat dalam bentuk grafik dan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik densitas papan partikel

4.4 Kadar Air

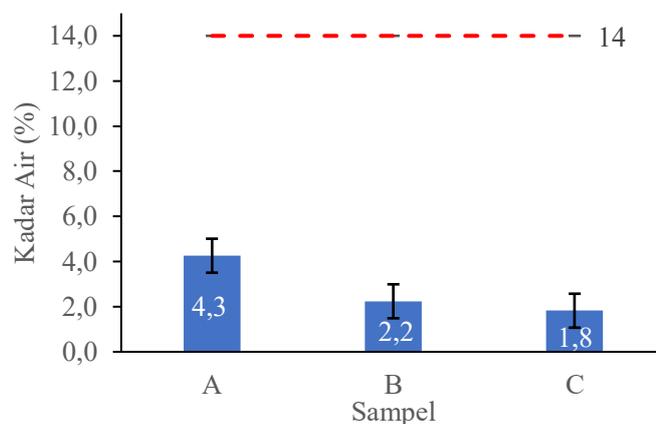
Nilai dari kadar air diperoleh berdasarkan nilai dari massa awal dan massa kering papan partikel. Sampel papan partikel dilakukan pemanasan dengan menggunakan *furnace* dengan suhu 105°C selama 1 jam. Setelah dilakukan pemanasan selama 1 jam, tiap sampel diukur massa menggunakan neraca digital selama 24 jam. Penimbangan dilakukan dengan waktu 0 jam, 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam dan 24 jam. Nilai pengujian kadar air dilakukan menggunakan massa kering yang telah dilakukan penimbangan dan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.2. Nilai kadar air pada papan partikel ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian kadar air

Sampel	Kadar Air					Rata-Rata	Standar Deviasi
	ma (gr)	mk (gr)	ma-mk (gr)	Hasil (%)			
A	A1	8,15	7,78	0,37	4,8	4,3	0,831
	A2	5,95	5,76	0,19	3,3		
	A3	8,21	7,84	0,37	4,7		
B	B1	8,13	7,91	0,22	2,8	2,2	0,543
	B2	6,6	6,49	0,11	1,7		
	B3	8,22	8,04	0,18	2,2		
C	C1	5,98	5,89	0,09	1,5	1,8	0,423
	C2	6,24	6,14	0,1	1,6		
	C3	4,88	4,77	0,11	2,3		

Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 yang membahas tentang papan partikel, nilai kadar air yang memenuhi standar berada di bawah 14%.

Penelitian yang dilakukan Romadhon [4] menunjukkan hasil kadar air tanpa dilakukan pemaparan panas, ditunjukkan pada sampel A3 dengan nilai kadar air rata-rata sebesar 4,4%. Penelitian ini menunjukkan penurunan nilai kadar air papan partikel setelah diberikan paparan panas secara konstan. Nilai kadar air terbesar didapatkan pada sampel A yang diberikan pemaparan panas sebesar 50°C dengan nilai rata-rata 4,3%. Nilai persentase kadar air terkecil terdapat pada sampel C yang dilakukan pemaparan panas sebesar 250°C dengan nilai rata-rata 1,8%. Berdasarkan hasil analisa grafik FTIR pada ketiga sampel menunjukkan adanya ikatan -OH dimana menjelaskan bahwa papan partikel terdapat kandunga selulosa, air dan resin berbasis bio sehingga papan partikel yang dibuat menggunakan bahan pelepah kelapa sawit dan serat mesokarp mengandung lignin dan selulosa yang termasuk bahan yang mudah menyerap air (higroskopis) sehingga memungkinkan papan partikel menyerap air pada lingkungan sekitar [23]. Grafik nilai pengujian kadar air dapat dilihat pada Gambar 4.8.

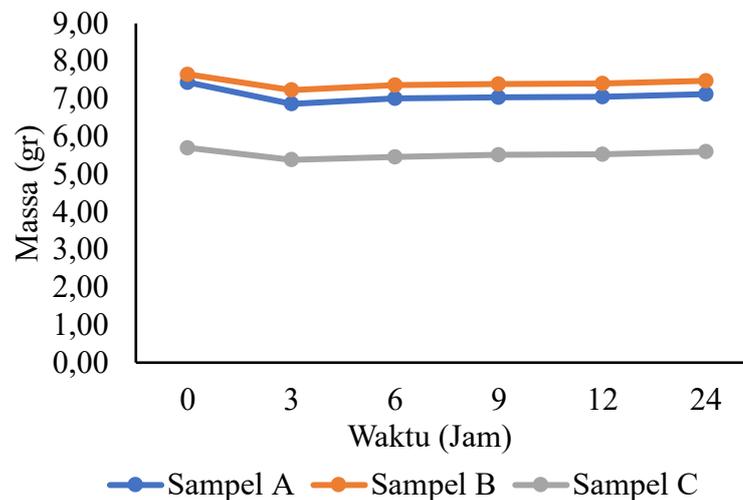


Gambar 4.8 Grafik kadar air papan partikel

Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan 3 sampel pada tiap sampel A pemaparan panas 50°C, sampel B pemaparan panas 150°C, dan sampel C pemaparan panas 250°C. Pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9 menunjukkan nilai kadar air pada tiap selang waktu 0 jam, 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam dan 24 jam.

Tabel 4.6 Nilai pengujian kadar air tiap jam

Sampel	Nilai Kadar Air (Jam)					
	0	3	6	9	12	24
A	7,44	6,86	7,01	7,04	7,05	7,13
B	7,65	7,23	7,36	7,39	7,40	7,48
C	5,70	5,38	5,46	5,51	5,53	5,60

**Gambar 4.9** Grafik nilai kadar air tiap jam

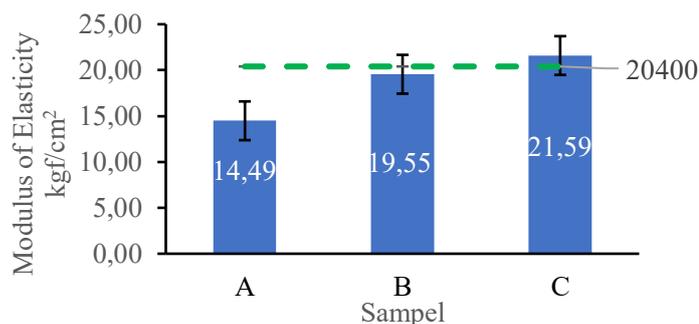
4.5 *Modulus of Elasticity* (MOE)

Pengujian *modulus of elasticity* (MOE) merupakan pengujian dimana mengukur nilai ketahanan material papan partikel ketika menerima paparan pembebanan dan mengalami fenomena deformasi plastis [28]. Pengujian *modulus of elasticity* dilakukan dengan uji *bending*/kelenturan dimana menggunakan mesin *Universal Testing Machine* Tensilon RTH 2410 100 kN dengan metode *three point bending*. Pengujian dilakukan menurut standar ASTM D790 dengan kecepatan gerak *head* sebesar 2 mm/menit [27]. Nilai pengujian *modulus of elasticity* selanjutnya didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan 2.3. Hasil pengujian *modulus of elasticity* pada papan partikel pelepah kelapa sawit yang diberikan paparan panas ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian *modulus of elasticity*

<i>Modulus of Elasticity</i>							
Sampel	L (cm)	b (cm)	h (cm)	Hasil (kgf/cm ²)	Rata- Rata	Standar Deviasi	
A	A1	9,294	1,317	0,472	14,12	14,49	0,84
	A2	9,334	1,059	0,428	15,44		
	A3	9,575	1,300	0,531	13,89		
B	B1	9,586	1,112	0,665	19,88	19,55	5,10
	B2	9,194	1,084	0,55	24,48		
	B3	9,144	1,500	0,504	14,29		
C	C1	8,197	1,099	0,726	13,57	21,59	10,94
	C2	8,232	1,084	0,729	17,14		
	C3	8,019	1,100	0,554	34,05		

Nilai *modulus of elasticity* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 menunjukkan nilai tertinggi terdapat pada sampel C dimana diberikan perlakuan panas sebesar 250°C dengan nilai 21,59 kgf/cm². Nilai terendah ditunjukkan pada sampel A dengan pemaparan panas sebesar 50°C dengan nilai 14,49 kgf/cm². Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 nilai minimum *modulus of elasticity* adalah 20.400 kgf/cm². Nilai *modulus of elasticity* meningkat seiring dengan kenaikan paparan panas yang diberikan pengujian. Nilai *modulus of elasticity* yang tinggi menunjukkan papan partikel cenderung lebih kaku dan mudah patah, nilai *modulus of elasticity* yang rendah menunjukkan papan partikel memiliki sifat yang lunak dan elastis. Penelitian ini menunjukkan bahwa papan partikel yang memenuhi standar SNI 03-2105-2006 adalah sampel C dengan nilai rata-rata 21,59 kgf/cm², sementara untuk sampel A dan B tidak memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Grafik pengujian *modulus of elasticity* ditunjukkan pada Gambar 4.10.

**Gambar 4.10** Grafik *modulus of elasticity* papan partikel

Penelitian yang dilakukan Romadhon [4] menunjukkan nilai *modulus of elasticity* terhadap papan partikel pelepah kelapa sawit yang tidak diberikan pemaparan panas menunjukkan nilai pengujian sebesar 12.748,20 kgf/cm². Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.8 menunjukkan nilai *modulus of elasticity* menaik secara konstan seiring kenaikan suhu, dimana suhu sampel A 50°C, 150°C dan 250°C. Nilai yang ditunjukkan pada sampel A dengan pemaparan panas 50°C tidak berubah secara signifikan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, namun untuk sampel C dengan pemaparan 250°C menunjukkan perbedaan yang signifikan hingga memenuhi standar SNI. Hal ini disebabkan karena sampel yang diberikan pemaparan panas dibawah 160°C tidak mempengaruhi degradasi dan perubahan sifat mekanik [22].

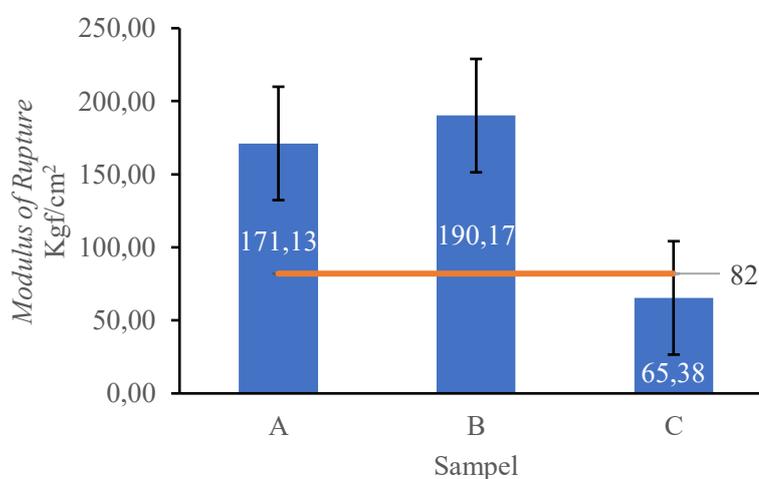
4.6 *Modulus of Rupture (MOR)*

Pengujian *modulus of rupture* dilakukan bersamaan dengan pengujian *modulus of elasticity*. *Modulus of rupture* atau keteguhan patah merupakan kekuatan tarik material sebelum mengalami patah saat diberikan pembebanan. Metode pengujian *modulus of rupture* dengan *modulus of elasticity* menggunakan *three point bending* dengan mesin *Universal Testing Machine* Tensilon RTH 2410 100 kN. Standar pengujian menggunakan ASTM D790 dengan kecepatan 2 mm/menit. Nilai MOR didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.4. Nilai MOR ditunjukkan pada Tabel 4.8 dibawah.

Tabel 4.8 Hasil pengujian *modulus of rupture*

		<i>Modulus of Rupture</i>					
Sampel		P (kgf)	L (cm)	b (cm)	Hasil (Kgf/cm ²)	Rata- Rata	Standar Deviasi
A	A1	2,498	9,294	1,317	118,71	171,13	90,82
	A2	3,824	9,334	1,059	276,00		
	A3	3,029	9,575	1,300	118,67		
B	B1	4,252	9,586	1,112	124,33	190,17	60,45
	B2	5,782	9,194	1,084	243,18		
	B3	5,639	9,144	1,500	202,99		
C	C1	1,978	8,197	1,099	41,99	65,38	26,00
	C2	2,835	8,232	1,084	60,76		
	C3	2,621	8,019	1,100	93,37		

Nilai *modulus of rupture* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 menunjukkan nilai *modulus of rupture* terbesar terdapat pada sampel B yang diberikan paparan panas sebesar 150°C dengan nilai 190,17 kgf/cm². Sementara nilai *modulus of rupture* terkecil terdapat pada sampel C yang diberikan paparan panas sebesar 250°C dengan nilai 65,38 kgf/cm². Berdasarkan standar SNI 03-2105-2006 menyatakan standar minimum *modulus of rupture* 82 kgf/cm². Berdasarkan nilai *modulus of rupture* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, variasi sampel A (paparan panas 50°C) dan sampel B (paparan panas 150°C) memenuhi syarat minimum SNI 03-2105-2006, sedangkan untuk sampel C dengan paparan panas 250°C tidak memenuhi standar. Grafik hasil pengujian *modulus of rupture* dapat dilihat pada Gambar 4.11 dibawah.



Gambar 4.11 Grafik *modulus of rupture* papan partikel

Penelitian sebelumnya yang dilakukan Romadhon [4] menunjukkan bahwa nilai *modulus of rupture* pada papan komposit pelepah kelapa sawit memiliki nilai 208,82 kgf/cm². Nilai *modulus of rupture* pada penelitian ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Nilai *modulus of rupture* mengalami peningkatan pada sampel B sebanding dengan bertambahnya suhu paparan panas. Sampel A merupakan sampel yang diberikan paparan panas sebesar 50°C memiliki nilai *modulus of rupture* sebesar 171,13 kgf/cm² dan sampel B merupakan sampel yang diberikan paparan panas sebesar 150°C memiliki nilai *modulus of rupture* sebesar 190,17 kgf/cm².

Sampel C yang diberikan paparan panas dengan suhu 250°C mengalami penurunan nilai *modulus of rupture* hingga 65,38 kgf/cm². Nilai *modulus of rupture* yang tinggi pada sampel A dan B menunjukkan bahwa papan partikel bersifat kuat ketika diberikan beban saat *bending*. Nilai *modulus of rupture* yang rendah pada sampel C menunjukkan bahwa papan partikel mudah retak/patah. Berdasarkan hasil grafik analisa FTIR menunjukkan bahwa sampel C mengalami pelemahan ikatan atom penyusun papan partikel, sehingga menyebabkan degradasi sifat mekanik dan mempengaruhi nilai *modulus of rupture* secara signifikan.

Paparan panas terhadap papan partikel dapat memperkuat ikatan antar partikel dalam papan partikel. Paparan panas dengan suhu yang optimal dapat meningkatkan kerekatan antar partikel sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanik papan partikel, namun paparan panas yang berlebih dapat menyebabkan kerusakan pada struktur papan partikel sehingga dapat menyebabkan degradasi pada sifat mekaniknya [34]. Hal ini juga didukung berdasarkan penelitian yang dilakukan Lee dkk. [22], dimana penurunan kekuatan papan terjadi ketika papan diberikan paparan panas dengan suhu lebih dari 160°C.

4.7 Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat Durometer *Shore D*. Pengujian ini dilakukan berdasarkan dengan standar ASTM D2240. Berdasarkan standar ASTM D2240 papan partikel memiliki ketentuan tebal minimum sebesar 6,4 mm. Pengujian dilakukan dengan menekan *indentor* durometer *shore D* sejajar dengan spesimen uji dalam waktu kurang dari 1 detik [27]. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3x pengambilan data pada tiap variasi sampel papan partikel. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menguji kekerasan papan partikel sebelum dan sesudah sampel papan partikel diberikan paparan panas. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.9 Hasil pengujian kekerasan sebelum paparan panas

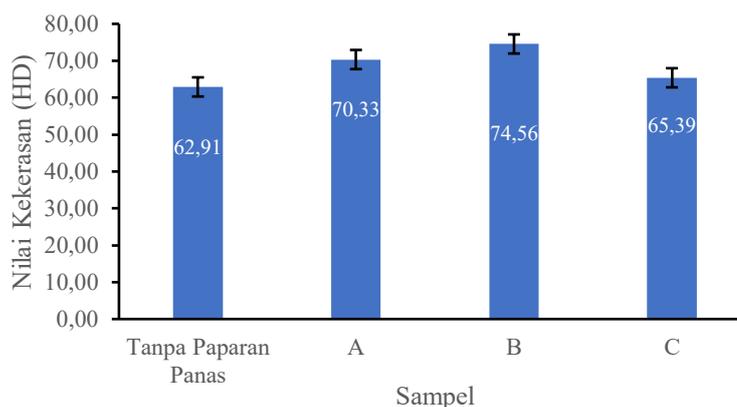
<i>Hardness Durometer Shore D Sebelum Paparan Panas</i>					
Sampel		Pengujian			Hasil
		1	2	3	
A	A1	56	55	57,5	56,17
	A2	58,5	55,5	56,5	56,83
	A3	64,5	65,6	66	65,37
B	B1	65	69	61	65,00
	B2	63	62	60,5	61,83
	B3	59	57,5	65	60,50
C	C1	67	68	63,5	66,17
	C2	66,5	64	71	67,17
	C3	66	67,5	68	67,17
Rata-Rata					62,91
Standar Deviasi					4,28

Nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 merupakan nilai kekerasan pada papan partikel yang diambil sebelum sampel diberikan paparan panas. Nilai kekerasan rata-rata sampel A, B, dan C adalah 62,91. Pengujian kekerasan selanjutnya dilakukan setelah papan partikel diberikan pemaparan panas selama 1 jam dengan variasi suhu Sampel A 50°C, Sampel B 150°C dan Sampel C 250°C sehingga didapatkan hasil nilai kekerasan tiap sampel seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil pengujian kekerasan setelah paparan panas

<i>Hardness Durometer Shore D Setelah Paparan Panas</i>							
Sampel		Pengujian			Hasil	Rata-Rata	Standar Deviasi
		1	2	3			
A	A1	69	68	70,5	69,2	70,33	1,48
	A2	69	73	74	72,0		
	A3	65	68,5	76	69,8		
B	B1	65	79	70,5	71,5	74,56	3,00
	B2	81	76	75,5	77,5		
	B3	75,5	70,5	78	74,7		
C	C1	78	71,5	75,5	75,0	65,39	9,50
	C2	67	63,5	65	65,2		
	C3	57	57,5	53,5	56,0		

Nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 merupakan nilai kekerasan yang diambil ketika sampel telah diberikan paparan panas. Sampel A yang diberikan paparan panas sebesar 50°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 70,33. Sampel B yang diberikan paparan panas sebesar 150°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 74,56. Sampel C yang diberikan paparan panas sebesar 250°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 65,39. Grafik nilai perbandingan kekerasan sebelum dan setelah diberikan paparan panas ditunjukkan pada Gambar 4.12 dibawah.



Gambar 4.12 Perbandingan nilai kekerasan terhadap paparan panas

Nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan yang terjadi pada sampel A dan sampel B. Sampel A yang diberikan paparan panas 50°C mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 7,42. Sampel B yang diberikan paparan panas 150°C mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 11,65, sementara pada sampel C yang diberikan paparan panas selama 250°C mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 2,48 dibandingkan sebelum menerima paparan panas. Berdasarkan analisa grafik FTIR sampel A dan B mengalami peningkatan sifat dan kekuatan mekanik pada papan partikel dikarenakan adanya paparan panas yang diberikan, sementara pada sampel C mengalami degradasi sifat mekanik sehingga menyebabkan peningkatan nilai kekerasan yang kurang signifikan. Paparan panas yang diberikan pada papan partikel dengan suhu $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$ dapat meningkatkan nilai kekerasan dan sifat mekanik dari papan partikel, sedangkan jika suhu yang diberikan pada papan

partikel lebih dari 160°C dapat menyebabkan degradasi termal pada papan partikel. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Lee dkk. [22].

4.8 Optimasi Suhu Paparan Panas

Penelitian ini dilakukan dengan memberikan pemaparan panas pada 3 variasi sampel papan partikel A, B, C dengan paparan panas masing-masing sebesar 50°C, 150°C dan 250°C selama 1 jam. Penelitian yang dilakukan perlu adanya optimalisasi nilai pada data penelitian sehingga dapat menunjukkan variasi sampel yang optimal. Optimalisasi data ini dilakukan dengan pembobotan nilai menggunakan metode Taguchi-DEAR (*Data Envelopment Analysis based Ranking*). Teknik pembobotan nilai menggunakan metode Taguchi-DEAR dilakukan dengan mengambil nilai optimum berdasarkan hasil pengujian *modulus of elasticity*, *modulus of rupture* dan densitas papan partikel. Nilai dari tiap pengujian selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MRPI (*Multi Response Performance Index*) sehingga dapat ditentukan nilai optimum berdasarkan tingkat nilai MRPI [35]. Nilai rata-rata hasil pengujian yang dibutuhkan dalam optimalisasi data ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rata-rata hasil pengujian suhu paparan panas

Sampel	Nilai Rata-rata		
	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Densitas (gr/cm ³)
Sampel A	171,13	14,48	0,848
Sampel B	190,17	19,55	0,843
Sampel C	65,37	21,59	0,708

Nilai dari yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 merupakan hasil rata-rata dari 3 sampel papan partikel yang telah diuji. Berdasarkan metode Taguchi-DEAR nilai dari MOE dan MOR merupakan nilai yang semakin besar semakin baik karakteristiknya (*larger-better*), sedangkan nilai densitas merupakan nilai yang semakin kecil semakin baik karakteristiknya (*smaller-better*) oleh karena itu pada nilai densitas dilakukan prosedur normalisasi terbalik. Nilai setiap data densitas dilakukan perhitungan 1/DS. Nilai rata-rata dari tiap pengujian selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan

nilai *weight* menggunakan persamaan 4.1 untuk nilai MOE dan MOR serta persamaan 4.2 untuk nilai densitas (DS) [35]. Hasil nilai perhitungan *weight* pada MOE, MOR dan densitas (DS) ditunjukkan pada Tabel 4.12

$$W_{MOE} = \frac{MOE_1}{\Sigma MOE} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$W_{DS} = \frac{\left(\frac{1}{DS_1}\right)}{\Sigma \frac{1}{DS}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Tabel 4.12 Nilai *weight* papan partikel

Sampel	<i>Weight</i>		
	W(MOR)	W(MOE)	W(DENSITAS)
Sampel A	0,349	0,318	0,286
Sampel B	0,362	0,343	0,296
Sampel C	0,288	0,339	0,418

Hasil perhitungan nilai *weight* yang didapatkan selanjutnya dihitung menggunakan persamaan sehingga didapatkan nilai MRPI, Hasil nilai MRPI merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan *rank*/peringkat suhu paparan panas yang optimal dalam penelitian. Nilai MRPI didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 4.3 sehingga didapat nilai MRPI tiap sampel dan ditunjukkan pada Tabel 4.13.

$$MRPI = W_1 + Y_{11} + W_2 + Y_{12} + \dots + W_j + Y_{1j} \dots \dots \dots (4.3)$$

Keterangan:

W_j = *Weight* respon/variabel terikat pengujian

Y_{1j} = Rata-rata data

Tabel 4.13 Hasil nilai MRPI papan partikel

Sampel	P	Q	R	MRPI	<i>Rank</i>
	MOR x W(MOR)	MOE x W(MOE)	DS x W(DS)	(P+Q)/R	
Sampel A	179,38	13,81	0,73	265,43	2
Sampel B	206,67	20,11	0,75	302,67	1
Sampel C	56,54	21,97	0,89	88,46	3

Berdasarkan hasil nilai MRPI yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 dapat diambil peringkat/*rank* suhu paparan panas yang optimal terdapat pada sampel B, yaitu dengan pemaparan panas suhu 150°C. Nilai MRPI pada sampel B menunjukkan nilai terbesar dengan nilai 302,67. Nilai terkecil pada hasil perhitungan MRPI penelitian ditunjukkan pada sampel C yang diberikan pemaparan panas dengan suhu 250°C menunjukkan nilai 88,46. Untuk sampel A yang diberikan pemaparan panas dengan suhu 50°C berada di peringkat/*rank* 2 diantara sampel B dan C. Hasil pembobotan menggunakan metode Taguchi-DEAR ini menyimpulkan bahwa suhu paparan panas yang optimal untuk diberikan pada papan partikel berada pada suhu 150°C dengan *rank* nilai MRPI terbesar. Pemaparan suhu 150°C pada sampel B merupakan pemaparan panas dengan suhu yang paling optimal dalam penelitian ini.

Berdasarkan grafik analisa FTIR sampel B yang diberikan paparan panas 150°C mengalami penguatan ikatan penyusun seperti resin dan serat, sehingga meningkatkan nilai kekuatan mekanik dari material. Sampel B memiliki nilai *modulus of rupture* tertinggi pada penelitian, dan nilai kekerasan tertinggi diantara sampel A dan B. Sedangkan sampel C yang diberikan paparan panas dengan suhu 250°C terjadi degradasi material organik dalam penyusunnya ditandai dengan adanya pelemahan ikatan pada grafik analisa FTIR serta terjadi degradasi sifat mekanik yang menyebabkan penurunan nilai *modulus of rupture* dan kekerasan pada penelitian. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Lee,dkk. [22] dimana suhu paparan panas yang optimal terdapat pada suhu 100-150°C dan suhu paparan panas yang diberikan lebih dari 160°C akan terjadi degradasi sifat mekanik.