

THERMAL ANALYSIS AND PERFORMANCE OF THE PYROLYSIS FUNCTION*(Analisa Termal Dan Kinerja Tungku Pirolisis)*Richard Pardomuan Sinaga^{1*} dan Gede Eka Lesmana²**ABSTRACT**

Biomass-fueled pyrolysis furnace is one approach to utilizing biomass as an alternative fuel and reducing the accumulation of plastic waste, where the furnace works to heat the plastic pyrolysis reactor and the oil cycle heat exchanger simultaneously. Where plastic pyrolysis produces gas to be converted into liquid fuel, and the heat in the oil cycle is used as a reference for the ORC (organic Rankine cycle) heat source in future research. Because the furnace has just been manufactured and no experimental analysis has been carried out regarding the testing method for the output product, therefore the purpose of this study is to analyze the effect of the fuel use method on the volume, quality, and efficiency of pyrolysis oil, maximum oil cycle temperature, and furnace performance. In this study, the type of plastic used is PET (polyethylene terephthalate) from used mineral water bottles that have been chopped with an initial mass of 5.2 kg and poured into a 26 kg reactor which is expected to reach pyrolysis gas at a temperature of 335°C which is then cooled by fixed bed condenser with a cooling rate of 19 liters/minute. Meanwhile, in the oil cycle using SAE 20W-50 engine oil at 1.3 liters/minute, it is expected to reach oil at a temperature above 90°C. The test was carried out twice based on the method of using the fuel, where in the first experiment using coconut shell charcoal briquettes as the main fuel with a feed of 5.0 kg/hour and LPG as a burner every 20 minutes per briquette feed, while the fuel in the second experiment only use LPG. The first pyrolysis experiment obtained 645 ml of pyrolysis oil with a density of 797-869 kg/m³ and a pyrolysis efficiency of 16.125%, while the second experiment obtained 986 ml with a density of 894-928 kg/m³ and a pyrolysis efficiency of 24.65%. The maximum temperature reached by the oil cycle was 122°C in the first experiment and 95°C in the second experiment. And the performance of the furnace in the first experiment showed that the thermal efficiency of the furnace was 38.84% and 76.59% in the second experiment.

Keywords: *Furnace, Plastic Pyrolysis, Oil Cycle, Biomass, Thermal Efficiency*

PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam dunia industri saat ini

^{1,2} Universitas Pancasila, Indonesia

*Corresponding author:

richardpardomuans@gmail.com

mengakibatkan semakin meningkatkannya kebutuhan material untuk bahan dari sebuah produk (Darmansyah, 2018). Secara umum material dapat dikelompokkan menjadi logam, keramik, dan komposit. Penggunaan material logam pada proses produksi sekarang ini semakin berkurang dikarenakan material logam cenderung lebih berat, tidak tahan korosi, harga yang relatif lebih mahal dan proses pembentukan yang cenderung relatif sulit dilakukan. Oleh karena itu banyak di kembangkan material-material jenis baru yang dapat menyerupai sifat dari logam yang dapat menyerap atau mempunyai kekuatan tinggi seperti halnya material komposit (Nopriantina, 2013).

Komposit merupakan paduan dari dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik kuat dari material pembentuknya. Komposit memiliki keunggulan antara lain berat yang lebih ringan, tahan terhadap korosi, kekuatan yang lebih tinggi, dan proses pembentukan yang mudah (Rodiawan, 2016). Komposit terdiri dari dua bagian utama, yaitu matriks sebagai bahan pengikat dan *filler* sebagai bahan pengisi dari komposit.

Serat alam dapat dijadikan sebagai *filler* atau pengisi dari material komposit. Salah satu serat alam yang dapat digunakan sebagai penguat dari komposit adalah serat daun nanas (*pineapple leaf fibres*) dan serat pelepah pisang (*banana leaf fibers*). Tanaman nanas dan pisang pada umumnya hanya di manfaatkan dari segi buahnya, sedangkan Pemanfaatan bagian lainnya jarang ditemui. Serat daun nanas dapat dijadikan benang dan dijadikan tikar atau kain, begitu juga dengan serat batang pisang dapat dijadikan kerajinan atau tali tambang. Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian sebagai pemanfaatan dari daun nanas dan batang pisang dengan cara dijadikan *filler* dari komposit.



Gambar 1. Serat

a) Serat Daun Nanas, b) Serat Pelepah Pisang

Berdasarkan penelitian Abdurrachman (2017), tentang analisa teknik komposit berpenguat serat daun nanas dan serat aMPas tebu menggunakan resin *Epoxy*, didapatkan hasil pengujian iMPact tertinggi sebesar 4.60 *Joule*. Dalam penelitian kunarto (2018), tentang serat pelepah pisang dan eceng gondok sebagai penguat komposit, didapatkan hasil uji tarik rata-rata sebesar 20,33 N/mm² serta kekuatan luluh rata-rata sebesar 15,87 N/mm². Kemudian, Danang Jaya (2019) melakukan penelitian tentang pemanfaatan serat pelepah pisang sebagai bahan komposit, didapat hasil kuat uji tarik tertinggi sebesar 8,0 N/mm², dan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 3,0 N/mm² dengan menggunakan resin *poly propylene*.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang melatar belakangi untuk melakukan pengembangan terhadap material komposit berpenguat serat alam, maka dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian komposit menggunakan serat daun nanas dan serat pelepah pisang sebagai penguat. Dan matriks komposit yang digunakan menggunakan resin *Polyester*.

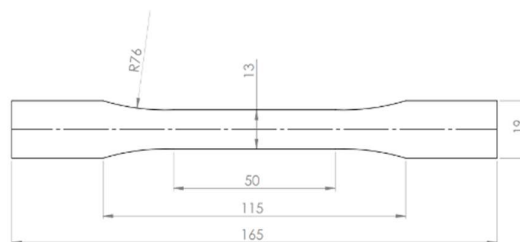
METODE

a. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: serat daun nanas, serat pelepah pisang, resin *polyester*, katalis, wax, aquades. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: cetakan spesimen, wadah kuas, sarung tangan, gunting, *cutter*, timbangan digital, jangka sorong, gelas ukur, pipet, penggaris, spidol.

b. Spesifikasi Bahan Uji

Pembuatan specimen dilakukan menurut Gambar 2 dan Tabel 2.



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Tabel 1. Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D 638

Dimensi	Panjang (mm)	Toleransi (mm)
$W = \text{Width of narrow section}$	13	± 0.5
$W_o = \text{Width of overall}$	19	± 0.5
$L_o = \text{Length of overall}$	165	No max
$G = \text{Gage length}$	50	± 0.25
$D = \text{Distance between grips}$	115	± 5
$R = \text{Radius of fillet}$	76	± 1

Sumber: (INTERNATIONAL, 2002)

c. Pembuatan Komposit

Langkah-langkah dalam pembuatan komposit dengan menggunakan serat daun nanas dan serat pelepah pisang serta bahan pengikat (matriks) menggunakan resin *Polyester* adalah sebagai berikut:

- Siapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan
- Siapkan serat daun nanas dan serat pelepah pisang yang telah dibersihkan dan dikeringkan
- Kemudian potong serat tersebut menggunakan gunting atau cutter sesuai dengan ukuran cetakan
- Langkah selanjutnya siapkan resin *polyester* beserta *hardener* yang akan digunakan sebagai campuran serat
- Timbang resin dan serat sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan
- Setelah semuanya siap, susun rapih searah serat kedalam cetakan yang telah diolesi wax sebelumnya agar resin tidak melekat pada cetakan
- Tuang resin yang telah dicampur dengan *hardener* kedalam cetakan.
- Ratakan permukaan cetakan, dan tunggu hingga resin mengeras
- Setelah hasil cetakan mengeras, keluarkan komposit dari cetakan secara perlahan agar spesimen komposit tidak patah atau rusak.
- Selesai, spesimen siap untuk dilakukan pengujian.

Menentukan campuran bahan dalam material komposit, maka harus dilakukan perhitungan fraksi volume dan massa dari masing masing bahan. Tujuan dari perhitungan tersebut yaitu agar mendapatkan perpaduan serat dan matriks yang sesuai dengan fraksi volume yang di tentukan. Adapun persamaan yang dipakai untuk menentukan fraksi volume tersebut adalah:

$$w = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f \cdot v_f}{\rho_c \cdot v_c} \quad \text{dan} \quad v = \frac{v_f}{v_c} \quad (1)$$

Sehingga, $w = \frac{\rho_f}{\rho_c} v$ (2)

Dapat dirumuskan bahwa campuran serat dan matrik akan menghasilkan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m \quad (3)$$

Fraksi volume dari serat dan matrik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$v_f = \frac{\frac{w_f}{\rho_f}}{\frac{w_f}{\rho_f} + \frac{w_m}{\rho_m}} \quad \text{atau} \quad v_f = \frac{\frac{w_m}{\rho_m}}{\frac{w_f}{\rho_f} + \frac{w_m}{\rho_m}} \quad (4)$$

$$w_f = \frac{\rho_f v_f}{\rho_f v_f + \rho_m v_m} \quad \text{atau} \quad w_m = \frac{\rho_m v_m}{\rho_f v_f + \rho_m v_m} \quad (5)$$

Keterangan:

v_c = Fraksi volume *composite* (%)

v_f = Fraksi volume *filler* (%)

v_m = Fraksi volume *matrix* (%)

w_c = Fraksi berat *composite* (%)

w_f = Fraksi berat *filler* (%)

w_m = Fraksi berat *matrix* (%)

ρ_c = Densitas *composite* (gr/cm³)

ρ_f = Densitas *filler* (gr/cm³)

ρ_m = Densitas *matrix* (gr/cm³)

Resin *polyester* banyak digunakan sekitar 70% dalam seluruh penggunaan jenis resin di seluruh dunia. Proses pengerasan resin ini akan dimulai ketika resin dicampur dengan katalis/*haedener* nya. Keunggulan dari resin *polyester* ini yaitu kekuatan yang cukup kuat dan letur, dapat menahan panas, ringan, dan harga yang relative lebih murah dibandingkan dengan resin jenis lain. Berikut ini merupakan table karakteristik dari resin *polyester*:

Tabel 2. Karakteristik resin *polyester* (PT. Justus kimia raya 2001).

Item	Satuan	Nilai	Catatan
Berat Jenis	gr/cm ³	1.4	25 ⁰ C
Kekerasan	-	40	Barcol GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	⁰ C	70	
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
Suhu ruang	%	0,446	7 hari
Kekuatan fleksural	Kg/mm ²	9,4	-
Modulus fleksural	Kg/mm ²	300	-
Kekuatan Tarik	Kg/mm ²	5,8	-
Modulus elastisitas	Kg/mm ²	300	-
Elongasi	%	2,4	-

Sumber : (Raya, 2009)

d. Perbandingan fraksi volume

Perbandingan fraksi volume untuk menentukan perbandingan berat antara serat dan resin. Perbandingan yang di tentukan dalam penelitian ini adalah seperti pada Tabel 3. Pada Tabel 3 menunjukkan presentasi fraksi volume dari perbandingan serat daun nanas dan serat pelepah pisang yang akan dicampurkan menggunakan *polyester*. Sedangkan gambar 2. Berikut ini merupakan hasil dari specimen komposit yang sudah di bentuk sesuai dengan perbandingan fraksi volume serat.

Tabel 3. Fraksi volume serat daun nanas/serat pelepah pisang

Serat	Sampel		
	1	2	3
Daun nanas	5%	10%	15%
Pelepah pisang	5%	10%	15%



Gambar 2. Spesimen komposit

Pengujian *tension* dapat digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material. Dalam pengujian tarik, kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) pada material di uji sampai material tersebut patah dengan adanya peningkatan gaya (*tensile load*) yang di berikan pada kedua sisi dari spesimen uji (Callister, 1991).

Tegangan di definisikan sebagai tahann terhadap gaya gaya luar. Tegangan adalah perbandingan antara beban proposional yang diberikan terhadap luar penaMPang. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{6}$$

Dimana:

σ = Tegangan (MPa).

F = Beban proposional (N).

A = Luas Penampang (mm^2).

Regangan merupakan perbandingan antara pertambahan Panjang (ΔL) dengan panjang awal (L_0). Untuk menentukan nilai regangan dari suatu material dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (7)$$

$$= \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

ε = Regangan (%).

L_0 = Panjang mula-mula (mm).

L_u = Panjang sesudah patah (mm).

Modulus elastisitas atau modulus young merupakan nilai yang penting untuk mengetahui nilai kekakuan dari suatu material. Nilai modulus elastisitas berbanding terbaik dengan nilai regangan suatu material yang dihasilkan akibat pemberian tegangan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (9)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas (MPa).

σ = Tegangan (MPa).

ε = Regangan (%).

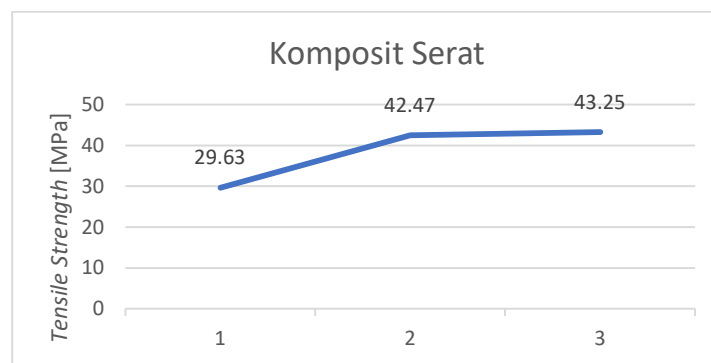
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian pengujian tarik yang telah dilakukan, didapatkan besar nilai dari kekuatan tarik, regangan serta modulus elastisitas pada masing masing spesimen komposit. Fraksi volume yang sama pada setiap untuk mengetahui bagaimana nilai dari spesimen komposit *polyester* dengan campuran serat daun nanas dan serat pelepah pisang.

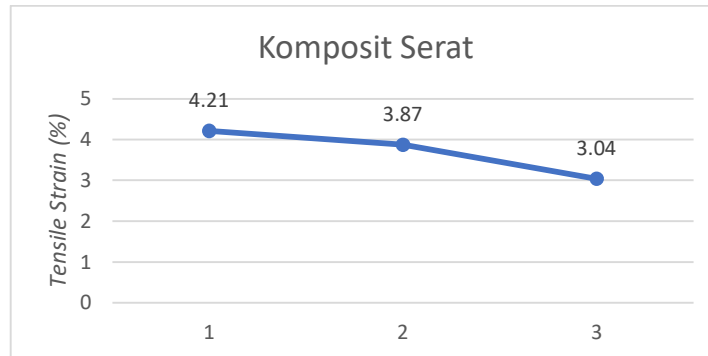
Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas spesimen komposit seperti pada Tabel 4. Dari hasil pengujian, nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen 3 dengan variasi fraksi volume 15% serat daun nanas dan 15% serat pelepah pisang dengan nilai 43.25 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah yaitu pada variasi fraksi volume serat daun nanas 5% dan serat pelepah pisang 5% yaitu sebesar 29.63 MPa.

Tabel 4. Hasil Uji Tarik Specimen

No	Sampel		<i>Tensile Strength</i>	<i>Tensile Strain</i>	<i>Modulus Elastisitas</i>
	Daun Nanas	Pelepah Pisang	[MPa]	[%]	[GPa]
1	5%	5%	29.63	4.21	1.23
2	10%	10%	42.47	3.87	1.83
3	15%	15%	43.25	3.04	2.12

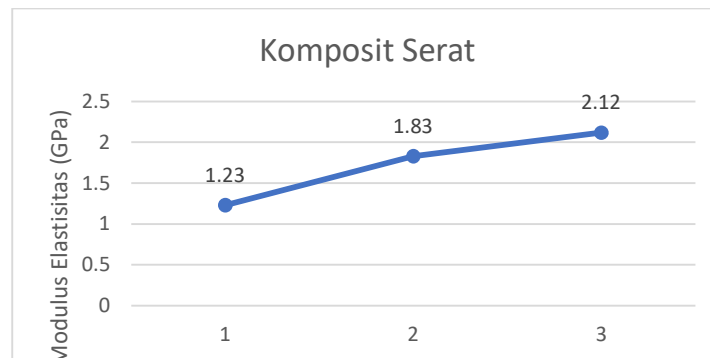


Gambar 3. Grafik rata-rata kekuatan tarik spesimen komposit.



Gambar 4. Grafik rata-rata regangan spesimen komposit.

Dari hasil pengujian, nilai regangan tertinggi pada spesimen 1 dengan variasi fraksi volume 5% serat daun nanas dan 5% serat pelepah pisang dengan nilai 4.21 %. Kemudian semakin menurun seiring dengan penambahan serat yaitu 3,87% untuk fraksi spesimen 2 dan 3,04% pada spesimen 3.

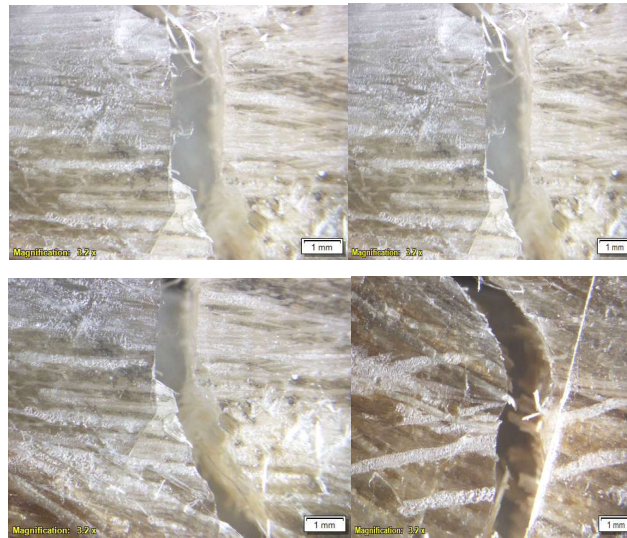


Gambar 5. Grafik rata-rata modulus elastisitas spesimen komposit.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa semakin banyaknya fraksi volume serat, maka semakin besar juga nilai modulus elastisitas nya. Nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu pada spesimen uji 3 dengan fraksi volume 15% serat daun nanas dan 15% serat pelepah pisang yaitu 2,12 GPa.

Struktur mikro komposit yang di uji merupakan bagian nilai yang terkecil dan terbesar dari setiap spesimen. Struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui struktur dari komposit

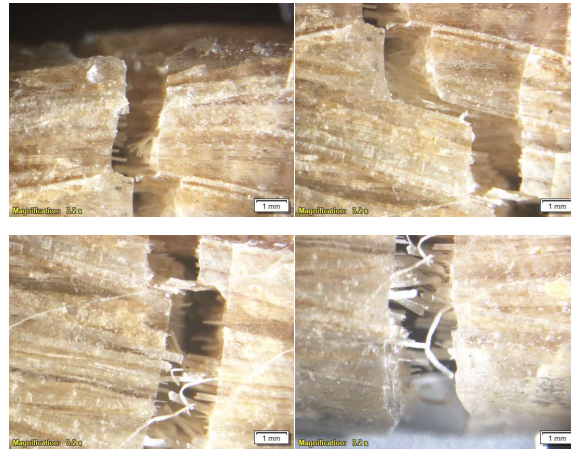
yang mengakibatkan nilai dari pengujian tarik dan iMPak komposit bernilai besar dan kecil. Berikut ini merupakan hasil foto struktur mikro yang telah dilakukan:



Gambar 6. Foto Struktur Mikro Spesimen 10%

Gambar diatas menunjukkan foto struktur mikro dari spesimen dengan komposisi serat 10%. Dari gambar tersebut dapat dilihat serat yang minim dan matriks *polyester* lebih dominan untuk memenuhi cetakan dari komposit. Serat yang tidak memenuhi bagian dari cetakan komposit mengakibatkan kekuatan komposit tidak maksimal, sehingga nilai dari dua pengujian diatas dengan menggunakan spesimen komposit 10% ini cenderung lebih kecil.

Gambar 7 menunjukkan foto struktur mikro dari spesimen dengan komposisi serat 30%. Dari gambar tersebut dapat dilihat serat yang padat memenuhi bagian dari komposit dan tidak adanya celah untuk bagian kosong pada spemien. Serat yang padat membuat hasil dari spesimen komposit lebih Tangguh dan kuat. sehingga nilai dari dua pengujian diatas dengan menggunakan spesimen komposit 10% ini cenderung lebih kecil.



Gambar 7. Foto Struktur Mikro Spesimen 30%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik terhadap komposit *polyester* berpenguat serat daun nanas dan serat pelepah pisang dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin besarnya komposisi serat pada campuran matriks *polyester* maka semakin besar juga kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit. Sebaliknya dengan *Tensile Strain* yang semakin menurun nilainya seiring dengan bertambahnya komposisi serat pada spesimen.
- Dengan menggunakan serat yang lebih banyak juga memungkinkan tidak adanya celah untuk serat memenuhi cetakan komposit sehingga pada foto struktur mikro 30% patahan spesimen komposit terlihat serat yang padat dan yang memenuhi bagian dari spesimen. Sebaliknya dengan serat yang lebih sedikit pada foto struktur mikro 10% terlihat patahan spesimen yang tipis dan masih adanya bagian yang tidak terisi oleh serat.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmansyah. (2018). Sintesis Mekanik Komposit Epoxy Berpenguat Serat Tebu (Tinjauan Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bending).
- Noni, Nopriantina. (2013). Pengaruh Ketebalan Serat Pelepah Pisang Kepok (Musa Paradisiaca) Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-Serat Alam.

- Rodiawan. (2016). Analisa Sifat-Sifat Serat Alam Sebagai Penguat Komposit Ditinjau dari Kekuatan Mekanik.
- Abdurrachman, F. (2017). Analisa Teknis Komposit Berpenguat Serat Daun Nanas (*Smooth Cayenne*) dan Serat AMPas Tebu (*Saccharum Officinarum*) Sebagai Alternatif Komponen Kapal Ditinjau dari Kekuatan Bending dan IMPact.
- Kunarto. (2017). Analisa Serat Pelepah Pisang dan Eceng Gondok sebagai Penguat Komposit terhadap Uji Tarik.
- Jaya, D. (2019). Pemanfaatan Serat Pelepah Pisang sebagai Bahan Komposit
- ASTM INTERNATIONAL, (2002). “Standart Test Method for Tensile properties of plastic, 2nd Edition, D 638-02,” *Annu. B. ASTM Stand.*
- PT. Justus Kimiaraya. (2009). Karakteristik Resin Poliester.
- W. D. Callister. (1991). *Materials Science and Engineering: An Introduction (2nd Edition)*, *Mater. Des., Vol. 12, No. 01, p. 59, 1991, doi: 10.1016/0261-3069(91)90101-9*