

Pengaruh fraksi massa dan ukuran butir basalt terhadap sifat mekanik komposit hibrid serat rotan

Bely Agusti¹, Tumpal Ojahan Rajagukguk², Slamet Sumardi³, Yusup Hendronursito³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Bandar Lampung

²Staf Pengajar, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Bandar Lampung
Jl. Pramuka No.27, Kemiling Permai, Kec. Kemiling, Kota Bandar Lampung, Lampung 35152

³Peneliti, Balai Penelitian Teknologi Mineral - OR IPT BRIN
Jalan Ir. Sutami Km.15, Tanjung Bintang, Sindang Sari, Lampung Selatan, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35361
Email korespondensi: tumpal_ojahan@yahoo.com

Abstrak

Komposit merupakan bahan yang terus dikembangkan karena keunggulannya sebagai bahan rekayasa. Dengan lingkungan geografis yang beragam, Indonesia memiliki sumber daya yang dapat digunakan sebagai bahan komposit, tidak terkecuali Provinsi Lampung yang memiliki sumber daya serat basalt dan rotan. Kajian ini diperlukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk basalt sebagai filler dan serat rotan sebagai penguat komposit matriks resin poliester. Basalt direduksi menjadi variasi ukuran 100, 200, dan 325 mesh dengan fraksi massa 2%, 7%, dan 12%. Rotan dibuat menjadi serat dan dicuci dengan NaOH 5%, kemudian dikeringkan. Serat rotan disusun secara acak dengan fraksi massa rotan tetap 10% dengan ukuran serat diameter 2 mm dan panjang 5 cm. Matriks resin poliester SHCP 2668 dengan katalis 2%. Komposit dibuat dengan metode hand lay up dengan menekan 3 ton selama 15 menit dan mengeringkan komposit. Pengujian mekanik meliputi uji kuat tarik berdasarkan standar ASTM D638 dan uji tekuk tiga titik berdasarkan ASTM D790, pengamatan uji makro untuk mengetahui bentuk patahan setelah dilakukan pengujian mekanis. Analisis ANOVA menunjukkan pengaruh signifikan fraksi massa dan ukuran serbuk basalt terhadap kekuatan tarik dengan nilai $P < 5\%$. Ukuran partikel basalt memberikan kontribusi dominan sebesar 84%, sedangkan fraksi massa sebesar 15,6% terhadap kekuatan tarik. Ukuran butir basalt memberikan kontribusi 62,13% terhadap kekuatan lentur dengan pengaruh signifikan nilai $P < 10\%$. Dalam kekuatan lentur, serat rotan memiliki pengaruh yang lebih besar daripada tegangan tarik. Ukuran butir kecil dari basalt memberikan kepadatan ikatan yang lebih padat antara partikel daripada partikel yang lebih besar. Resin dapat mengisi rongga-rongga kecil yang dibentuk oleh partikel-partikel kecil untuk membuat papan komposit lebih tebal dan kokoh. Hasil ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengembangkan kajian resin poliester matriks komposit hibrida dengan bahan pengisi menggunakan sumber daya lokal, terutama serat basalt dan rotan.

Kata kunci: komposit, poliester, basalt, rotan, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

Abstract

Composite is a material that continues to be developed because of its advantages as an engineering material. With its diverse geographical environment, Indonesia has resources that can use as a composite material, and Lampung Province is no exception, which has basalt and rattan fiber resources. This research is needed to determine the effect of using basalt powder as a filler and rattan fiber as a polyester resin matrix composite reinforcement. Basalt was reduced to size variations of 100, 200, and 325 mesh with 2%, 7%, and 12% mass fractions. Rattan is made into fiber and washed with 5% NaOH, then dried. Rattan fibers were arranged randomly with a fixed mass fraction of rattan at 10% with a fiber size of 2 mm in diameter and 5 cm in length. SHCP 2668 polyester resin matrix with 2% catalyst. The composite was made using the hand lay-up method by pressing 3 tons for 15 minutes and drying the composite. Mechanical testing includes tensile strength test based on ASTM D638 standard and three-point bending test based on ASTM D790, macro test observations to determine the shape of the fracture after mechanical testing. ANOVA analysis showed the significant effect of mass fraction and size of basalt powder on tensile strength with a P -value $< 5\%$. The basalt particle size contributed 84% dominantly, while the mass fraction was 15.6% to the tensile strength. The grain size of the basalt contributes 62.13% to the flexural strength with a significant effect of P -value $< 10\%$. In flexural strength, rattan fiber has more influence than tensile stress. The small grain size of the basalt provides a denser bonding density between the particles than the larger particles. Resin can fill small cavities formed by small particles to make the composite board thicker and more robust. These results can be used as a reference for developing research on hybrid composite matrix polyester resin with filler using local resources, especially basalt and rattan fiber.

Keywords: composite, polyester, basalt, rattan, tensile strength, flexural strength.

1. Pendahuluan

Teknologi komposit berpenguat serat alam saat ini semakin maju dan berkembang. Serat memiliki peran untuk menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada komposit. Komposit berpenguat serat menggabungkan keunggulan kekuatan dan kekakuan dari serat yang memiliki massa jenis rendah [1]. Perkembangan teknologi ikut berperan di dalam kemudahan penyediaan serat sintetis. Namun seiring dengan kesadaran akan penggunaan material ramah lingkungan, serat sintetis mulai tergantikan dengan serat alam. Serat alam memiliki nilai ekonomis, pembuatan yang mudah, memiliki densitas yang kecil, ramah lingkungan karena dapat terurai secara biologis [2]. Berbagai serat alam telah dikembangkan sebagai material penguat pada komposit, diantaranya serat bambu [3, 4, 5], serat kenaf atau rami jawa [6], serat jute [7], serat kayu [8], serat tebu [9], serat rotan [10], dan serat alam lainnya. Bahan serat alam dikembangkan menurut ketersediaan sumber daya alam masing-masing daerah. Provinsi Lampung terdapat berbagai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai serat alam. Salah satunya adalah serat rotan. Rotan dari jenis *calamus* banyak dijumpai di Tanggamus maupun Lampung Barat. Rotan ini oleh masyarakat sekitar digunakan sebagai alat pengikat dan pembuat keranjang atau kerajinan lainnya [11].

Kajian pemanfaatan rotan sebagai serat penguat pada komposit pernah dilakukan. Serat rotan sebagai penguat komposit *polyester* memberikan kekuatan tarik dan *bending* yang memenuhi standar Biro Klasifikasi Indonesia [12]. Selain itu penggunaan serat rotan juga memberikan nilai daya serat air yang cukup kecil yaitu 2,71 gram pada fraksi volume serat 10%. Kekuatan komposit berpenguat serat sangat dipengaruhi oleh interaksi antara matriks dengan serat itu sendiri. Jumlah serat juga ikut mempengaruhi kekuatan matriks mengikat serat [13]. Oleh karenanya, di dalam pembuatan komposit berpenguat serat sering dipadukan dengan *filler* berbentuk serbuk atau partikel. Komposit dengan pengisi lebih dari satu material ini disebut sebagai komposit hibrid. Beberapa kajian telah menunjukkan perpaduan penguat serat dan serbuk pada komposit resin memberikan pengaruh terhadap kekuatan komposit. Komposit hibrid dengan penguat serat *glass* dengan serbuk tanah liat pada komposit resin poliester telah dikaji. Hasil pengujian tarik dan *bending* menyatakan bahwa fraksi volume serbuk tanah liat 2% mampu menaikkan kekuatan tarik sebesar 12% dan kekuatan *bending* sebesar 21% [14]. Perpaduan penguat serbuk batang dan serat sabut kelapa telah dilakukan [9], memberikan kekuatan tarik 96 N/mm², elastisitas rata-rata 0,125%, rata-rata modulus elastisitas 768 N/mm², dan kekuatan impact 0,068 J/mm² [15].

Penggunaan partikulat basalt pada komposit menunjukkan sifat fisik dan mekanik yang unggul

dari komposit yang dibuat. Komposit matriks polimer dengan penguat basalt serbuk telah dikaji [19]. Hasil kajian menunjukkan karakteristik yang luar biasa dengan bahan yang murah. Komposit matriks polimer yang diperkuat basalt memungkinkan untuk digunakan pada industri utama seperti konstruksi dan mobil [16]. Komposit matriks aluminium yang diperkuat basalt serbuk memiliki kekerasan dua kali lipat dari matriks aluminium yang digunakan [3]. Parameter yang paling signifikan yang berpengaruh terhadap kekerasan adalah ukuran butir basalt, persentase serbuk basalt, dan yang terakhir kecepatan pengadukan. Ukuran butir yang digunakan pada kajian ini yaitu mesh 100, 200, dan 325 [17]. Komposit matriks epoksi dengan memadukan serat basalt dan serbuk basalt telah dilakukan. Hasil kajian menunjukkan bahwa menggabungkan serat basalt dengan bubuk basalt meningkatkan kekakuan dan ketahanan termal dari komposit epoksi. Komposit hibrid baru lebih tahan terhadap perubahan suhu daripada sampel referensi yang dibuktikan dengan analisis termal mekanis dinamis [18].

Pemanfaatan serat rotan dan serbuk basalt sebagai pengisi pada komposit matriks resin *polyester* perlu dipelajari. Maka kajian ini bertujuan untuk membuat komposit hibrid serat rotan serta pengaruh dari fraksi massa dan ukuran butir basalt terhadap sifat mekanik komposit.

2. Metode

Rotan diperoleh dari Lampung Barat berjenis rotan lilin. Rotan dibuat menjadi serat dan dilakukan perendaman menggunakan larutan 5 wt% NaOH selama 1 jam. Serat rotan kemudian dicuci hingga bersih dan dilakukan penjemuran hingga kering. Serat rotan yang telah kering kemudian dipotong dengan panjang serat 5 cm [19]. Batuan basalt dari Lampung Timur dilakukan penggerusan menggunakan mesin *ball mill*. Serbuk basalt kemudian diayak menggunakan ayakan ASTM *mesh* 200. Resin *polyester SHCP 2668* digunakan sebagai matriks dengan hardener sebanyak 1%.

Parameter spesimen komposit hibrid yang digunakan dalam kajian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Proses pencampuran semua bahan menggunakan mesin pengaduk dengan metode pembuatan komposit adalah *hand lay up* dengan arah serat secara acak dengan fraksi berat tetap yaitu 10%. Penekanan komposit menggunakan mesin *press* hidrolik dengan tekanan 3 ton [20].

Komposit yang telah kering kemudian dipotong membentuk spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM D638-03 dan uji *3 point bending* berdasarkan ASTM D790-02. Pengujian tarik dan *3 point bending* menggunakan mesin *Universal Testing Machine* HT24004 kapasitas 100 kN [21].

Tabel 1. Desain parameter spesimen.

No.	Fraksi Massa Serbuk basalt	Ukuran Serbuk Basalt (Mesh)	Fraksi Massa Serat Rotan
1	2%	100	10%
2	2%	200	
3	2%	325	
4	7%	100	
5	7%	200	
6	7%	325	
7	12%	100	
8	12%	200	
9	12%	325	

3. Hasil dan Pembahasan

Papan komposit yang telah berbentuk lembaran kemudian dipotong sesuai dengan ukuran spesimen uji yang akan dibuat. Bentuk spesimen uji tarik dan uji 3 point bending ditunjukkan pada Gambar 1.



(a)



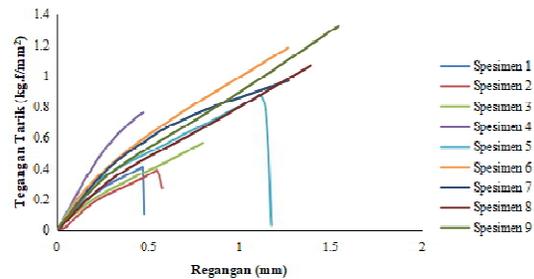
(b)

Gambar 1. Spesimen uji (a) spesimen uji tarik, dan (b) spesimen uji 3 point bending.

Hasil Uji Tarik

Grafik tegangan - regangan dari hasil pengujian tarik ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa tegangan tarik tertinggi yang dapat diterima oleh papan komposit sebesar 1,32 kg.f/mm² yang diperoleh dari spesimen 9. Spesimen 9 merupakan papan komposit yang dibuat dengan perbandingan berat dari resin *polyester* : serat rotan : serbuk basalt sebesar 78:10:12, dengan ukuran ayakan serbuk basalt mesh 325. Sedangkan tegangan tarik terkecil dari papan komposit pada spesimen 1 sebesar 0,41 kg.f/mm². Spesimen 1 merupakan papan

komposit yang dibuat dengan perbandingan berat resin *polyester* : serat rotan : serbuk basalt sebesar 88:10:2, dengan ukuran serbuk basalt mesh 100.



Gambar 2. Grafik tegangan - regangan komposit.

Tegangan tarik rata-rata yang dapat diterima oleh papan komposit dengan ukuran mesh 100 adalah 0,49 kg.f/mm², ukuran mesh 200 adalah 0,94 kg.f/mm², sedangkan ukuran mesh 325 adalah 1,32 kg.f/mm². Semakin kecil ukuran partikel basalt maka akan semakin tinggi tegangan tarik yang mampu diterima oleh papan komposit. Ukuran partikel basalt mesh 325 memberikan kenaikan tegangan tarik sebesar 168% dibandingkan dengan ukuran partikel mesh 100. Terlihat bahwa ukuran serbuk basalt mesh 325 memiliki rentang tegangan tarik yang paling tinggi diikuti oleh mesh 200, sedangkan mesh 100 memiliki rentang tegangan terkecil.

Ukuran serbuk basalt sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit yang dibuat. Semakin kecil ukuran partikel maka rongga-rongga yang terjadi antar ikatan partikel juga semakin kecil, sehingga komposit menjadi semakin kuat. Ukuran partikel yang kecil mampu berikatan dengan kuat antara partikel dengan matrik resin sehingga menyebabkan kekuatan yang semakin tinggi [22, 23]. Ukuran partikel yang besar akan memberikan ruang yang besar pula dan diperbesar ketika resin sebagai matriks menerima beban pada saat proses penarikan yang menyebabkan jarak rekat antara matriks dengan partikel juga semakin lebar. Jarak rekat partikel yang lebar ini

berakibat terhadap kekuatan tarik yang semakin kecil. Semakin rapat dan padat maka komposit akan

memiliki ikatan partikel yang semakin rapat sehingga menghasilkan ikatan mekanik yang baik [24, 25, 26].

Tabel 2. Analisis varians untuk respons yang diubah.

Source	DF	Sq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persentase	2	0,19127	15,57%	0,19127	0,095634	34,13	0,003
Mesh	2	1,11049	84,00%	1,11049	0,555244	198,18	0,000
Error	4	0,01121	0,85%	0,01121	0,002802		
Total	8	1,31296	100%				

Tabel 3. Ringkasan model untuk respons yang diubah.

S	R-Sq	R-Sq (adj)	Press	R-sq (pred)
0,0529315	99,15%	98,29%	0,0567353	95,68%

Koefisien determinasi berganda atau *R-square* berfungsi untuk mengukur kebaikan suai (*goodness of fit*) dari persamaan regresi. Nilai *R-square* pada analisis sebesar 99,15% mengindikasikan kecocokan model yang lebih baik.

Hasil Uji 3 Point Bending

Hasil dari pengujian 3 point bending menghasilkan beban yang bekerja pada papan komposit hingga putus, ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Beban (F) pengujian 3 point bending.

No.	Serbuk basalt	Ukuran Spesimen	Ukuran Spesimen			Beban Tekan
	Persentase (%)	Ukuran (Mesh)	B (mm)	D (mm)	L(mm)	F (kg.f)
1	2	100	5	26	80	31
2	7	100	7	26,5	80	90
3	12	100	5,5	25	80	76
4	2	200	4,5	26	80	21
5	7	200	5,5	26	80	30
6	12	200	6	25	80	38
7	2	325	6	26,6	80	60
8	7	325	6	25,5	80	60
9	12	325	7	21,5	80	112

Berdasarkan beban maksimal yang diperoleh dari uji 3 point bending, maka dihitung tegangan bending menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$\sigma = \frac{3 F L}{2 b d^2} \tag{1}$$

dengan σ = tegangan bending (kgf/mm²), F = beban hingga patah (kgf), L = jarak tumpu spesimen (mm), b = lebar benda kerja (mm),

Dari pengujian ini dihasilkan tegangan bending terkecil yaitu sebesar 0,83 kg/mm² yang diterima oleh sampel 1. Sampel 1 merupakan papan komposit yang dibuat dengan persentase filler basalt 2% dengan ukuran mesh 100. Sedangkan tegangan bending terbesar yaitu 4,15 kg.f/mm² yang diterima oleh sampel 9. Sampel 9 merupakan papan komposit yang dibuat dengan persentase filler basalt sebesar 12% dengan ukuran mesh 325.

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan dari 9 spesimen papan komposit yang dibuat.

Tabel 5. Tegangan bending komposit.

No.	Serbuk basalt	Ukuran Spesimen	Tegangan Bending
	Persentase (%)	Ukuran (Mesh)	Σ
1	2	100	(kg/mm ²)
2	7	100	0,83
3	12	100	0,97
4	2	200	1,22
5	7	200	1,10
6	12	200	1,85
7	2	325	2,65
8	7	325	1,70
9	12	325	2,20

Analisis of Varians (ANOVA) untuk Tegangan Bending

Hasil olah data menggunakan *software minitab17* untuk menganalisis tegangan *bending*, hasil ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil anova untuk tegangan bending.

Source	DF	Sq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persentase	2	0,02188	10,33%	0,02188	0,01094	0,75	0,529
Mesh	2	0,13165	62,13%	1,11049	0,06583	4,51	0,094
Error	4	0,05837	27,55%	0,01121	0,01459		
Total	8	0,21191	100%				

Kontribusi terbesar diperoleh dari parameter ukuran basalt (*mesh*) sebesar 62,13% lebih besar dari kontribusi parameter persentase basalt yang hanya bernilai 10,33%. Hal ini memberikan gambaran bahwa parameter ukuran (*mesh*) basalt memberikan kontribusi terbesar terhadap nilai tegangan bending. *Error* yang terjadi pada data yang diberikan dari hasil pengujian sebesar 27,55%. *Error* lebih besar dari 5% atau 0,05 menunjukkan bahwa terdapat parameter lain yang berpengaruh terhadap tegangan bending. Dilihat dari komposisi papan komposit yang terdiri dari 3 material berbeda yaitu resin *polyester*, serat, dan basalt, maka parameter lain yang berpengaruh tersebut adalah serat rotan. Dari nilai kontribusi persentase basalt yang hanya sebesar 10,33% sedangkan pengaruh parameter serat mencapai 27,55%. Menunjukkan bahwa serat rotan memberikan

pengaruh lebih besar dibandingkan dengan parameter persentase basalt terhadap tegangan bending.

P-value terkecil atau kurang dari 5% menunjukkan pengaruh yang signifikan dibandingkan nilai *P-value* yang lebih besar dari 5%. Dari data di atas diperoleh *P-value* terkecil diperoleh dari parameter ukuran (*mesh*) basalt yaitu sebesar 0,095. Sedangkan *P-value* dari parameter persentase basalt sebesar 0,529. Kedua parameter lebih besar dari 5%, menunjukkan bahwa kedua parameter ini kurang berpengaruh signifikan terhadap tegangan tarik. Parameter lain yang memungkinkan berpengaruh secara signifikan yaitu serat rotan.

Ringkasan model untuk respon yang diubah untuk tegangan bending ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Ringkasan model dari respon yang diubah untuk tegangan bending.

<i>S</i>	<i>R-Sq</i>	<i>R-Sq (adj)</i>	<i>Press</i>	<i>R-sq (pred)</i>
0,0529315	72,45%	44,91%	0,295503	0,00%

Koefisien determinasi berganda atau *R-square* berfungsi untuk mengukur kebaikan suai (*goodness of fit*) dari persamaan regresi. Nilai *R-square* pada analisis sebesar 72,45% mengindikasikan persebaran data yang kurang baik. Hal ini dipicu dari variabilitas respon rata-rata yang kurang baik. *R-square* yang cukup rendah memberikan pengaruh terhadap ketepatan hasil prediksi karena akan memberikan interval prediksi yang cukup lebar. Namun nilai *R-square* ini tidak dapat menggantikan pengaruh signifikansi dari *P-value* yang telah diperoleh.

4. Kesimpulan

Pembuatan komposit matriks resin *polyester SHCP 2668* dengan *filler* penguat berupa serat rotan dan serbuk basalt telah dilakukan. Ukuran serbuk basalt memberikan kontribusi terbesar dibandingkan pada parameter lainnya. Kontribusi tertinggi ukuran serbuk basalt tertinggi diperoleh pada pengujian tarik yaitu sebesar 84%. Namun demikian, persentase basalt juga memberikan pengaruh signifikan yang ditandai dengan *P-value* di bawah nilai $\alpha = 5\%$. Serat rotan sebagai *filler* lebih memberikan pengaruh terhadap tegangan *bending* dibandingkan tegangan tarik. Pada tegangan *bending* serat rotan berkontribusi sebesar 27,55%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, yang telah memberikan kesempatan untuk menyusun kajian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Penelitian Teknologi Mineral yang telah membantu di dalam pengujian spesimen. Pernyataan kontribusi bahwa semua penulis memberikan kontribusi yang sama pada makalah ini.

Daftar Pustaka

- [1] Arifin Mohd Ishak, Z. (2013). Effect of clay addition on mechanical properties of unsaturated polyester/glass fiber composites. *International Journal of Polymer Science*, 2013.
- [2] Endriatno, N., Kadir, K., & Alim, A. (2015). Analisis Sifat Mekanik Komposit Sandwich Serat Pelepeh Pisang dengan Core Kayu Biti. *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(2).
- [3] Hendronursito, Y., Rajagukguk, T. O., Safii, R. N., Sofii, A., Isnugroho, K., Birawidha, D. C., Muhammad Amin and Al Muttaqii, M. (2020). Analysis of aluminium basalt particulate composite using stirring casting method through taguchi method approach. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 807 (1), 012003.
- [4] Hu, R. H., Lim, J. K., Kim, C. I., & Yoon, H. C. (2007). Biodegradable composites based on polylactic acid (PLA) and China jute fiber. *In Key Engineering Materials*, 353, 1302-1305.
- [5] Huda, M. S., Drzal, L. T., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2006). Wood-Fiber-Reinforced Poly (Lactic Acid) Composites: Evaluation Of The Physicomechanical And Morphological Properties. *Journal Of Applied Polymer Science*, 102(5), 4856-4869.
- [6] Jokosisworo, S. (2009). Pengaruh penggunaan serat kulit rotan sebagai penguat pada komposit polimer dengan matriks Polyester Yukalac 157 Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk. *Teknik*, 30(3), 191-196.
- [7] Kartini, R., Darmasetiawan, H., Karo, A. K., & Sudirman, S. (2018). Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 3(3), 30-38.
- [8] Lee, S. Y., Chun, S. J., Doh, G. H., Kang, I. A., Lee, S., & Paik, K. H. (2009). Influence Of Chemical Modification And Filler Loading On Fundamental Properties Of Bamboo Fibers Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Composite Materials*, 43(15), 1639-1657.
- [9] Lumintang, R. C., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2011). Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang Dan Serat Sabut Kelapa. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 145-153.
- [10] Matykiewicz, D., Barczewski, M., Knapski, D., & Skórczewska, K. (2017). Hybrid Effects Of Basalt Fibers And Basalt Powder On Thermomechanical Properties Of Epoxy Composites. *Composites Part B: Engineering*, 125, 157-164.
- [11] Muhaimin, M., Lailaty, I. Q., & Hidayat, I. W. (2015). Keragaman tumbuhan di kawasan Hutan Lindung Gunung Tanggamus, Lampung dan upaya konservasinya. *Jurnal Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indonesia*, 4, 144-50.
- [12] Najamudin, N. (2017). Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Sifat Mekanik Komposit Dengan Matrik Resin Epoxy. Penelitian Mandiri Universitas Bandar Lampung.
- [13] Ochi, S. (2008). Mechanical Properties Of Kenaf Fibers And Kenaf/PLA Composites. *Mechanics Of Materials*, 40(4-5), 446-452.
- [14] Primaningtyas, W. E., Sakura, R. R., Biqi, A., & Handoyo, C. (2019). Sintesis Komposit Kampas

- Rem Bebas Asbes Berpenguat Serbuk Kulit Singkong. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 3(2), 91-95.
- [15] Rahman, M. B. N., & Kamiel, B. P. (2011). Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Sifat-sifat Tarik Komposit Diperkuat Unidirectional Serat Tebu dengan Matrik Poliester. *Semesta Teknika*, 14(2), 133-138.
- [16] Setyawan P. D., Sari, N. H., & Putra, D. G. P. (2012). Pengaruhorientasi Danfraksi Volume Serat Daun Nanas (Ananas Comosus) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyestertak Jenuh (Up). *Dinamika Teknik Mesin*, 2(1).
- [17] Sujito, S. (2012). Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berbasis Serat Bambu dan Matriks Asam Poli Laktat. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 9(1), 49-58.
- [18] Takagi, H., Kako, S., Kusano, K., and Ousaka, A. (2007). Thermal Conductivity Of Pla-Bamboo Fiber Composites. *Advanced Composite Materials*, 16(4), 377-384.
- [19] Todic, A., Nedeljkovic, B., Cikara, D., & Ristic, I. (2011). Particulate basalt-polymer composites characteristics investigation. *Materials & Design*, 32(3), 1677-1683.
- [20] G. Singh, T. Sundarajan, K.A. Bhaskaran. 2013, "Mixing and entertainment characteristics of circular and noncircular confined jets." *Journal of fluids Engineering, Transaction of The ASME*, Vol. 125, 835-842.
- [21] S.Mochizuki, H. Osaka. 1998, Drag reduction with submerged ribs and its mechanism in a turbulent boundary layer over d-type roughness. *Proc Int Symp on Seawater Drag Reduction, Newport, Rhode Island, 22-23 July*, 121-126.
- [22] J.P. Holman. 1986, *Heat Transfer, Sixth Edition*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- [23] Reynolds, C. Wiliam, Perkins, C. Henry. 1987, *Termodinamika Teknik, Edisi ke-2*. Erlangga, Jakarta.
- [24] T.S. Yuli. 2013, *Studi Eksperimental Indentifikasi Kavitas pada Elbow 90° Berdasarkan Spektrum Getaran dan Tingkat Kebisingan, Tugas Akhir Teknik Mesin, ITS, Surabaya*.
- [25] P. Manceke, B. Winkler, B. Manhartsgurber, 2001, *Magneto-rheological damper*. US006623364B2,
- [26] W.J Rachmeyer, F. Chain, 2005, *Calibration and verification testing facilities using an orifice*. www.engineering.udu.edu/cee/, diakses 21 Juli 2005.