

Green composite Pelepah Pinang, Pati Singkong dan Resin Epoksi Sebagai Material Ramah Lingkungan

Ni Made Marlinawati¹, I Putu Yudi Octavian², Ni Luh Gede Lisdiantari³,
& I Gede Nengah Wika Gunawan⁴

¹Program Studi Farmasi Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

²Program Studi Farmasi Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

³Program Studi Kimia Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

⁴Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Komposit tersusun dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Komposit yang berasal dari serat sintetis dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan bahan yang lebih ramah lingkungan yaitu pati singkong, pelepah pinang, dan resin epoksi. Pelepah pinang memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai filler. Resin epoksi memiliki sifat yang sulit terdegradasi, sehingga digunakan pati singkong untuk memudahkan proses degradasi komposit. Dengan menggunakan metode blend dan hand lay up, komposit dibuat dalam 4 komposisi yaitu (50:50)%v, (60:40)%v, (75:25)%v, (80:20)%v dan masing-masing komposisi dibagi empat dan ditambahkan dengan 0 g, 3 g, 6 g, dan 9 g pati singkong. Berdasarkan hasil uji tarik diperoleh elastisitas modulus tertinggi pada sampel D9 sebesar 128,84 MPa dan tegangan maksimum pada sampel A6 sebesar 0,896 N/m². Uji dampak yang memerlukan energi terbesar terdapat pada sampel A6 dan D9 dengan energi yang diperlukan sebesar 28,1363 Joule. Perbedaan kekuatan dapat disebabkan karena terdapatnya void. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil pengujian struktur morfologi permukaan yang memperlihatkan masih terdapat void di dalam komposit sehingga kekuatan komposit tidak maksimal dan terdapat ikatan antar material yang tidak merata pada beberapa sampel. Berdasarkan pengujian termal diketahui bahwa sampel A6 memiliki penghantaran panas yang lebih baik dari sampel lainnya dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,26 W/mK. Pada pengujian biodegradable membuktikan bahwa sampel yang berisi campuran pati singkong menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dengan rata-rata nilai degradasi sampel setelah 30 hari penguburan sebesar 0,018%.

Kata Kunci : Komposit, Pelepah Pinang, Uji Tarik dan Dampak, Uji Biodegradable, Uji Termal, SEM

Abstract

Composites are made up of two or more different materials. Composites derived from synthetic fibers can cause environmental pollution, so that more environmentally friendly materials are needed, namely cassava starch, betel nut, and epoxy resin. Areca nut has a high cellulose content so it can be used as a filler. Epoxy resin has properties that are difficult to degrade, so cassava starch is used to facilitate the composite degradation process. By using the blend and hand lay up methods, the composite was made in 4 compositions, namely (50:50)%v, (60:40)%v, (75:25)%v, (80:20)%v and respectively The composition was divided into four and added with 0 g, 3 g, 6 g, and 9 g of cassava starch. Based on the tensile test results, the highest modulus of elasticity in sample D9 is 128.84 MPa and the maximum stress in sample A6 is 0.896 N/m². The impact test that requires the greatest energy is found in samples A6 and D9 with the required energy of 28.1363 Joules. The difference in strength can be caused by the presence of voids. This is also shown by the test results of the surface morphology structure which show that there are still voids in the composite so that the composite strength is not optimal and there are uneven bonds between materials in some samples. Based on thermal testing, it is known that sample A6 has better heat conductivity than other samples with a thermal conductivity value of 0.26 W/mK. The biodegradable test proved that the sample containing a mixture of cassava starch showed a significant change with the average degradation value of the sample after 30 days of burial of 0.018%.

Keywords: Composite, Areca Nut, Tensile and Impact Test, Biodegradable Test, Thermal Test, SEM

1. Pendahuluan

Komposit adalah suatu material yang tersusun dari minimal dua atau lebih material yang berbeda jenis (organik dan anorganik). Bahan komposit dari bahan anorganik seperti serat sintetis tentunya akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Pilihan lain yang dapat dilakukan yaitu dengan

mengembangkan material komposit dari serat alam. Serat alam dapat berasal dari kelapa, bambu, pisang, ijuk, aren, pinang dan tanaman lainnya. Bahan-bahan ini nantinya harus dapat berorientasi pada keberadaan dan jumlah melimpah, kualitas tinggi dengan harga yang terjangkau, serta tentu saja ramah lingkungan [1][2][3].

Pelepah pinang merupakan serat alam yang dapat digunakan sebagai bahan *green composite*. Serat dari pelepah pinang merupakan senyawa organik yang terdiri atas hemiselulosa, selulosa serta lignin. Selulosa dari serat alami ini dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada bahan *green composite*. Terkandung 57,35-58,21% selulosa dari total komposisi senyawa yang dimiliki oleh serat pinang [4][5].

Selain sebagai *filler*, komposit juga dapat berperan sebagai perekat yang berfungsi untuk menguatkan dan melindungi bahan pengisi. Agar komposit dapat bertahan lama, digunakan bahan resin epoksi yang tahan terhadap suhu tinggi, bersifat mekanik baik, serta tidak mudah meleleh setelah pemanasan berulang selama digunakan, tetapi sifat tidak melelehnya ini menyebabkan resin menjadi sulit untuk didegradasi dan berpotensi untuk merusak lingkungan [6]. Maka dari itu, digunakan bahan tambahan lain untuk mempermudah degradasi di lingkungan, yaitu pati. Pati yang digunakan yaitu pati singkong atau ubi kayu karena memiliki kandungan pati yang tinggi yaitu sebesar 78-86% [7].

Bahan komposit yang dibuat dari pati singkong, pelepah pinang dan resin epoksi akan diaplikasikan sebagai material alternatif dalam pembuatan alat makan agar lebih ramah lingkungan. Sehingga diperlukan penelitian yang lebih mendalam terkait efektivitas dan komposisi optimal dari bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan komposit sehingga dihasilkan material yang kuat, tahan lama serta dapat terdegradasi.

Tujuan dari penelitian ini yaitu diketahuinya efektivitas dan komposisi optimal dari serat pelepah pinang, resin epoksi, dan pati singkong untuk menghasilkan material komposit yang kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan. Adapun permasalahan yang dibahas adalah bagaimana efektivitas dan komposisi optimal dari komposit serat pelepah pinang, resin epoksi, dan pati singkong untuk menghasilkan material yang kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan

2. Dasar Teori

2.1. *Green composite* dan Perkembangannya

Komposit umumnya terdiri dari dua unsur, yakni unsur bahan pengisi (*filler*) dan matriks yang berfungsi sebagai pengikat dan perekat yang mencegah *filler* dari kerusakan eksternal [8]. Fungsi *filler* atau bahan penyusun selain untuk menguatkan komposit juga sebagai bagian utama yang menentukan karakteristik suatu komposit. Terdapat dua jenis bahan pengisi (*filler*) yakni bahan

alamiah dan sintetis [3]. *Filler* yang terbuat dari serat sintetis dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan karena menghasilkan limbah anorganik yang sukar terurai di tanah. Dengan demikian, pengembangan dan penggunaan bahan alami terus mendorong pengembangan teknologi *green composite* yang ramah lingkungan [4].

Komposit yang berasal dari material – material alami yang ramah lingkungan disebut *green composite* atau lebih dikenal dengan sebutan biokomposit. Pengaplikasian *green composite* telah banyak di terapkan, misalnya pada bidang transportasi dan konstruksi. Peminat dari material *green composite* pun semakin meluas. Beberapa tahun terakhir pengguna energi *glass fiber-reinforced plastic* (GFRP) beralih menggunakan *green composite*. Terdapat peningkatan di semua bidang untuk dalam penggunaan *green composite*, diantaranya kinerja ekonomis dan fungsional, serta mengurangi biaya produksi, meningkatkan kinerja fungsional produk, dan dapat memproduksi produk yang ramah lingkungan [9].

Serat alam seperti kelapa, bambu, pisang, dan lain-lain dapat digunakan sebagai material penguat *green composite*. Selain memiliki densitas yang rendah, serat alam juga memiliki beberapa keuntungan lainnya seperti memiliki spesifikasi kekuatan, harga yang jauh lebih terjangkau, ketersediaannya melimpah, dan tentunya menghasilkan emisi yang lebih rendah, serta lebih mudah untuk didaur ulang. Tidak semua serat alam dapat digunakan untuk komposit, melainkan serat dan matriks yang digunakan harus bisa menahan tegangan yang tinggi akibat pendistribusian tegangan yang terjadi pada saat serat berinteraksi dengan matriks. Hal ini karena adanya pengaruh interaksi ikatan antara serat dan matriks, yaitu *void* yang merupakan daerah yang disebabkan oleh bentuk serat yang kurang sempurna atau terdapat celah pada serat yang sehingga matriks tidak dapat mengisi ruang kosong pada cetakan dengan sempurna. Hal ini lah yang dapat menyebabkan daerah tegangan beban berpindah ke bagian *void* saat komposit menerima beban sehingga akan mengurangi kekuatan komposit yang dihasilkan [10].

Kekuatan tarik dari komposit di pengaruhi oleh struktur serat. Komposit dengan komposisi serat buah pinang menunjukkan hubungan yang tegak lurus antara persentase serat dan kekuatan tarik bahan yang terbentuk. Semakin tinggi rasio serat maka semakin besar tegangan yang

dihasilkan. Hal tersebut terbukti dari penambahan komposit resin yang diperkuat dengan serat pinang yang menunjukkan tegangan kekuatan tarik komposit serat buah pinang dan resin epoksi dengan komposisi 80 : 20 % sebesar 14,04 MPa serta komposisi 90:10% sebesar 9,8 MPa [12]. Kekuatan tarik bahan komposit bisa dipengaruhi oleh jenis dan ukuran serat. Serat dengan diameter yang lebih kecil akan dapat memberikan daya tarik yang semakin besar, dikarenakan rongga yang terdapat diantara serat menjadi semakin kecil dan ikatan antar molekulnya pun lebih banyak sehingga kuat tariknya sangat tinggi. Akan tetapi, lapisan lapisan lilin (lignin) dan kotoran lain yang terkandung pada serat akan dapat menghalangi ikatan *interface* antara serat dan *substract*, menyebabkan mekanisme pemutusan rotasi yang menunjukkan ikatan yang lemah antara serat dengan *substract* [1].

Fungsi dari penambahan material lain seperti pati dan serat akan menyebabkan komposit mudah terdegradasi. Komposit akan semakin mudah terbiodegradasi apabila semakin banyak serat yang terkandung [11]. Campuran matriks epoksi, pati talas dan serat pinang sepanjang 12 mm menunjukkan modulus elastisitas sebesar 132,52 MPa, dan serat dengan panjang 9 mm menunjukkan nilai renggang dan kuat impak tertinggi yaitu sebesar 10% dan 0,0052 J/mm² dengan nilai biodegradasi rata – rata sebesar 0,098% [6]. Selain itu, komposit dengan matrik polipropilena dan serat pinang yang ditambahkan pati pisang 3% menunjukkan nilai tarik tertinggi yaitu 20,69 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi ditunjukkan oleh penambahan pati pisang 5% sebesar 489,93 MPa. Penambahan pati pisang dengan persentase 9% dan 7% memberikan nilai renggang dan kuat impak terbesar yaitu sebesar 5,5% dan 0,072 J/mm² dengan nilai degradasi terbesar 0,0028%/hari pada lama penguburan selama 30 hari dengan nilai persen massa 0,084% [11].

3. Metode penelitian

Pada penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai berikut:

3.1. Alat

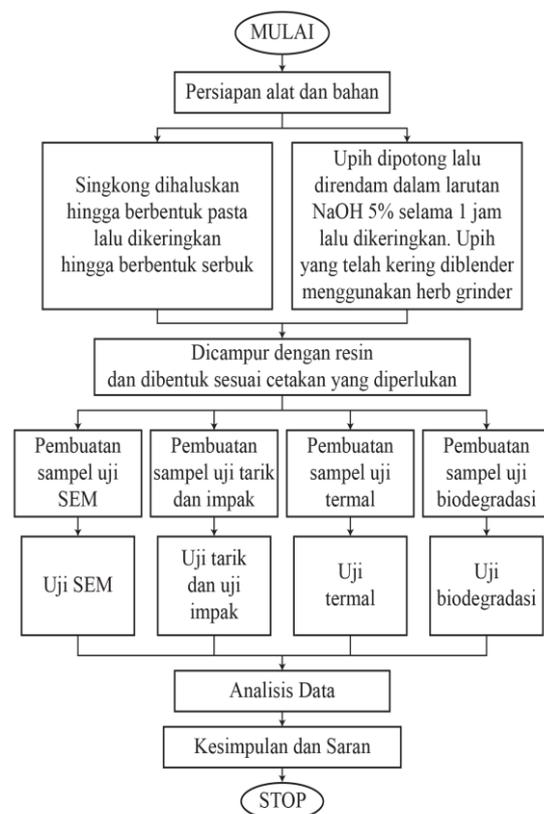
Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: alat-alat gelas, oven, herb grinder, blender, mortir, ayakan, timbangan analitik, gunting, penggaris, aluminium foil, plastic wrap, desikator, kuas, batang pengaduk, ember, alat *Scanning Elektron Microscope* (SEM), mikroskop, moisture analyzer, mesin uji tarik dan uji impak, alat pengujian DSC.

3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Pelempang pinang dipilih yang paling tua digunakan sebagai matriks atau pengisi dalam pembuatan komposit.
2. Singkong berusia 6 bulan atau lebih yang dicari patinya untuk digunakan sebagai pengisi (*filler*).
3. Resin dan *hardener* sebagai pengikat koponen komposit.
4. NaOH 98% yang dibuat menjadi NaOH 5%.
5. Akuades sebagai pengenceran NaOH.
6. Vaseline sebagai *release agent* pada komposit dan cetakan
7. Tanah untuk media uji biodegradabel

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.4. Metode Uji

Adapun metode pengujian dilakukan yaitu preparasi bahan, pembuatan komposit, pengujian struktur morfologi permukaan, uji tarik dan impak, uji termal dan uji biodegradabel.

3.4.1. Preparasi Bahan

Pelempah pinang dicuci kemudian direndam selama ±10 hari menggunakan air hingga membusuk dan diambil seratnya. Serat dikeringkan dibawah sinar matahari (±2 hari) untuk mengurangi kadar airnya, selanjutnya direndam dengan NaOH 5% selama 1 jam dan

dikeringkan kembali selama 24 jam di udara terbuka. Serat pinang diserbukkan kemudian diayak.

Pati singkong dibuat menggunakan singkong yang telah berumur 6 bulan atau lebih yang kemudian dibersihkan dari kulitnya dan dicuci bersih dengan air. Singkong diparut secara manual hingga halus, ditambahkan air dan diremas-remas. Selanjutnya bubur singkong disaring hingga pati lolos bersama air dari saringan sebagai suspensi pati. Suspensi ini kemudian ditampung dan diendapkan selama 24 jam, suspensi pati di oven hingga diperoleh kadar air < 14%. Produk yang telah kering selanjutnya digiling dan diayak dengan ayakan mesh 80.

3.4.2. Pembuatan Komposit

Pembuatan komposit menggunakan metode *blend* dan *hand lay up* yaitu dibuat dari campuran serbuk pelepah pinang, pati singkong dan resin epoksi dengan katalisnya (*hardener*). Dilakukan pencampuran resin epoksi dan katalisnya (1:1) dan komposit dibuat 4 komposisi ((50:50)%v, (60:40)%v, (75:25)%v, (80:20)%v). Masing-masing komposisi akan ditambahkan dengan 0 g, 3 g, 6 g, serta 9 g pati singkong. Setiap pembuatan sampel, cetakan dilapisi dengan vaselin yang berfungsi sebagai *release agent* pada komposit dan cetakan. Komposit dimasukkan kedalam cetakan dan ditekan dengan kekuatan maksimal hingga menghasilkan ketebalan yang diinginkan (± 3 mm). Berikut merupakan pelabelan dan komposisi dari sampel yang dibuat.

Tabel 1. Tabel pelabelan dan komposisi sampel

A0: Resin : pelepah (50 : 50)%v	B6: B0 + 6 gr pati	D0: Resin : pelepah (80 : 20)%v
A3: A0 + 3 gr pati	B9: B0 + 9 gr pati	D3: D0 + 3 gr pati
A6: A0 + 6 gr pati	C0: Resin : pelepah (75 : 25)%v	D6: D0 + 6 gr pati
A9: A0 + 9 gr pati	C3: C0 + 3 gr pati	D9: D0 + 9 gr pati
B0: Resin : pelepah (60 : 40)%v	C6: C0 + 6 gr pati	
B3: B0 + 3 gr pati	C9: C0 + 9 gr pati	

3.4.3. Pengujian Struktur Morfologi Permukaan

Pengujian dilakukan menggunakan alat *Scanning Elektron Microscope* (SEM) dengan pembesaran 30x, 120x, dan 700x yang kemudian di portet menggunakan film hitam putih.

3.4.4. Pengujian Tarik dan Impak

Uji tarik benda uji dilakukan berdasarkan standar ASTM D 638 dan untuk uji impak matrik komposit dilakukan berdasarkan standar ASTM A370.

3.4.5. Pengujian Termal

Uji konduktivitas termal dilakukan dengan uji *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) agar mengetahui titik leleh dari benda uji. Sampel diuji pada rentang suhu 20°C - 400°C dengan laju pemanasan 10°C.

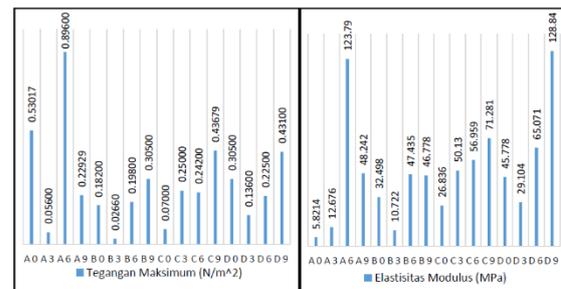
3.4.6. Pengujian Biodegradable

Uji dilakukan dengan menimbang sampel sebagai massa awal (m_0). Kemudian dikubur dalam tanah dengan variasi waktu 5 hari, 15 hari, dan 30 hari. Sampel setelah dikubur lalu diambil, dikeringkan, dan ditimbang serta hitung persentase nilai pengurangan massa.

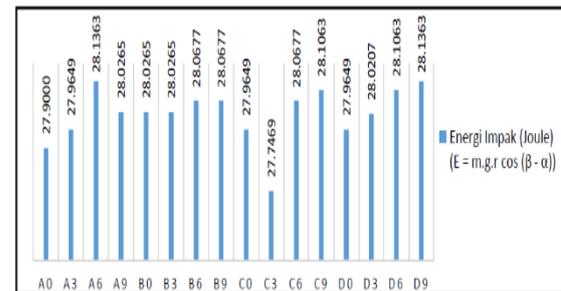
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisa Kekuatan Tarik dan Impak

Uji tarik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarikan dan regangan dari benda uji. Sedangkan uji impak untuk mengetahui kekuatan impak benda saat terkena benturan. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk mengukur kekuatan tarik dan impak dari material yang dibuat.



Gambar 2. Grafik Data Sampel Hasil Uji Tarik



Gambar 3. Nilai Hasil Uji Impak (Energi Impak)

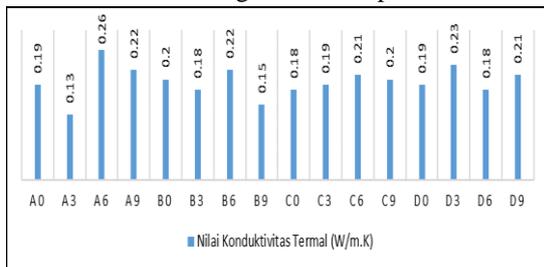
Pada gambar 2, diperoleh hasil sampel D9 memiliki elastisitas modulus tertinggi yaitu 128,84 MPa, namun nilai tegangan maksimum jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan beberapa sampel (0,431 N/m²). Pada *ultimate strength* sampel A6 memiliki nilai 0,896 N/m² tertinggi diantara seluruh sampel dan nilai tegangan sebesar 123,79 MPa. Sedangkan sampel yang memiliki nilai *ultimate strength* terkecil yaitu sampel B3 sebesar 0,0266 N/m² dengan nilai tegangan sebesar 10,722 MPa. Dari hasil

tersebut, hasil dari tinggi atau rendahnya suatu elastisitas modulus dan tegangan maksimum akan ^{id}mempengaruhi ^{void}kekuatan ikatan dari setiap komponen di dalam komposit. Jika nilai yang diperoleh tinggi maka ikatan yang terjadi semakin kuat, lemahnya ikatan dapat disebabkan oleh tidak ratanya pencampuran matriks dengan bahan pengisi.

Kemudian pada gambar 3, sampel yang memerlukan energi dampak terbesar adalah sampel A6 dan D9 yang mana sama-sama memerlukan energi sebesar 28,1363 Joule dan terendah pada sampel C3 dengan memerlukan energi sebesar 27,7469 Joule. Perbedaan energi dampak tersebut dapat disebabkan rongga dan celah pada komposisi, dimana semakin banyak rongga akan memperbesar kemungkinan terjadinya getas atau patah mendadak.

4.2. Analisis Konduktivitas Termal

Analisis termal merupakan analisis yang dilakuka untuk mengukur perubahan sifat-sifat fisik bahan terhadap perubahan suhu. Konsuktivitas termal merupakan besaran yang menyatakan kemampuan material dalam menghantarkan panas.

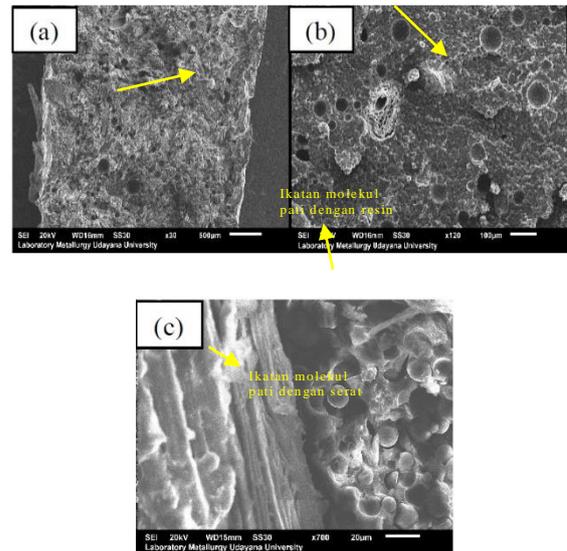


Gambar 4. Grafik Nilai Konduktivitas Termal Komposit

Nilai konduktivitas termal yang diperoleh sebanding dengan kemampuan menghantarkan panas dari material uji. Nilai konduktivitas termal yang semakin besar akan menunjukkan kemampuan material yang semakin besar dalam menghantarkan panas [13]. Berdasarkan data pada gambar 4 diperoleh bahwa sampel A6 memiliki nilai konduktivitas yang lebih besar daripada sampel lainnya yaitu sebesar 0,26 W/mK. Nilai konduktivitas ini menunjukkan bahwa sampel A6 memiliki penghantaran panas yang lebih baik dibanding sampel lainnya.

4.3. Analisis Struktur Morfologi Permukaan

Pengujian dengan alat SEM yang bertujuan untuk melihat ikatan atau interaksi yang terjadi antara sampel komposit.

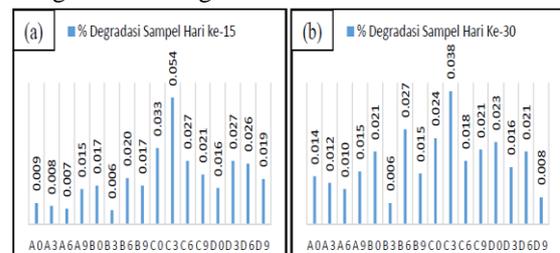


Gambar 5. Struktur Morfologi Permukaan (a) sampel B0 pada perbesaran 30x, (b) sampel D9 pada perbesaran 120x, (c) sampel A6 pada perbesaran 700x

Berdasarkan hasil pengamatan, pada gambar (a) dan (b) masih terdapat ruang kosong (*void*) yang menandakan terdapat gelembung udara didalam komposit. Selain itu, terdapatnya *void* mengartikan bahwa tidak terikatnya *filler* dengan matriks sehingga saat komposit menerima beban, daerah tegangan akan pindah kedalam area *void* dan akan menyebabkan melemahnya kekuatan komposit [12]. Sedangkan pada gambar (c) menunjukkan adanya ikatan antara molekul pati singkong, serat pelepah pinang dengan resin.

4.4. Analisis Biodegradabel Komposit

Uji biodegradabel dilakukan untuk mengetahui laju penguraian komposit oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam tanah. Penambahan pati singkong akan meningkatkan proses degradasi komposit dalam tanah karena interaksi antara pati dengan mikroorganisme alami didalam tanah



Gambar 6. Nilai degradasi komposit hari ke-15 (a) dan hari ke-30 (b)

Berdasarkan gambar 6, penambahan pati singkong menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dari beberapa sampel yang

berisi pati singkong. Namun perubahan tersebut tidak merata pada beberapa komposisi. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perbedaan massa awal tiap sampel, kelembaban serta banyaknya mikroba pengurai di dalam [6]. Nilai rata-rata dari biodegradasi sampel setelah 30 hari penguburan yaitu sebesar 0,018%.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini hasil yang diperoleh masih belum optimum akan tetapi terdapat beberapa sampel yang berpotensi. Berdasarkan hasil uji tarik diperoleh elastisitas modulus tertinggi pada sampel D9 sebesar 128,84 MPa dan tegangan maksimum pada sampel A6 sebesar 0,896 N/m². Uji dampak yang memerlukan energi dampak terbesar terdapat pada sampel A6 dan D9 dengan energi yang diperlukan sebesar 28,1363 Joule. Perbedaan kekuatan ini dapat disebabkan karena terdapatnya *void* atau gelembung udara. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil pengujian struktur morfologi permukaan yang memperlihatkan bahwa masih terdapat gelembung udara di dalam komposit sehingga kekuatan komposit masih belum maksimal dan terdapat ikatan antar material yang tidak merata pada beberapa sampel. Berdasarkan pengujian termal diketahui bahwa sampel A6 memiliki penghantaran panas yang lebih baik dari sampel lainnya dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,26 W/mK. Pada pengujian biodegradable membuktikan bahwa sampel yang berisi campuran pati singkong menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dengan rata-rata nilai degradasi sampel setelah 30 hari penguburan sebesar 0,018%. Untuk itu diperlukan pengembangan lebih lanjut dan juga perhatian lebih terhadap metode dan proses pencampuran dari setiap komponen sehingga didapatkan hasil yang maksimum

Daftar Pustaka

- [1] Muhajir M., Mizar M.A., Sudjimat D. A., 2016, *Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak*, Jurnal Teknik Mesin. 2: 1-8.
- [2] Pujiati R., 2017, *Analisa teknis bahan komposit dari serat alami ampas tebu untuk bahan alternatif pembuatan kulit kapal*, Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- [3] Palan A., Pappang R., Salam L., dan Salu S., 2018, *Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serat Pelepah Pinang (Areca catechu)*, Prosiding Seminar Nasional 2018 Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. 9-10 April 2018. pp. 208-214.
- [4] Rozi M. F. dan Mahyudin, A., 2020, *Analisis Variasi Fraksi Volume Nanoserat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Uji Biodegradasi Material Komposit Epoksi dengan Pati Talas*, Jurnal Fisika Unand (JFU). 9(2): 270-276.
- [5] Binoj J.S., Raj R.E., Sreenivasan V.S., dan Thusnavis G.R., 2016. *Morphological, Physical, Mechanical, Chemical and Thermal Characterization of Sustainable Indian Areca Fruit Husk Fibers (Areca catechu L.) as Potential Alternate for Hazardous Synthetic Fibers*. Journal of Bionic Engineering. 13(1): 156-165.
- [6] Dynanty S.D.P., Mahyudin A., 2018, *Pengaruh Panjang Serat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Uji Biodegradasi Material Komposit Matriks Epoksi dengan Penambahan Pati Talas*, Jurnal Fisika Unand. 7(3): 233-239.
- [7] Ariany S.P., Purwanto Y.A., Budijanto S., Khumaida N., 2018, *Karakteristik Fisikokimia Tepung dari 20 Genotipe Baru Ubi Kayu*. Jurnal Pangan. 26(3).
- [8] Schwartz M.M., 1984, *Material Komposit Handbook*, McGraw-Hill: New York, Amerika Serikat.
- [9] Georgios K., Silva A., Furtado S., 2016, *Applications Of Green composite Materials*, Biodegradable Green Composites. 1: 312-337.
- [10] Fahmi H., Hadi S., Kapur F. M., 2016, *Analisis Kekuatan Komposit Resin diperkuat Serat Pinang*. Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang. 6(2): 86-91.
- [11] Artika M.P., Mahyudin A., 2019, *Pengaruh Persentase Serat Pinang terhadap Sifat Mekanik dan*

Biodegradabilitas Komposit Polipropilena dengan Penambahan Pati Pisang, Jurnal Fisika Unand. 8(2): 158-163.

- [12] Laksono A.D., Ernawati L., dan Maryanti D., 2019, **Pengaruh Serah Alam dari Limbah Kayu Bangkirai Terhadap Modulus Elastisitas Material Komposit**, Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada 2019. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- [13] Kreith F., 2010, **Principle of Heat Transfer**. CL Engeenaring: New York, Amerika Serikat.

	Ni Made Marlinawati merupakan mahasiswa S1 program studi farmasi di Universitas Udayana pada tahun 2018 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 7 dengan peminatan bidang farmasi klinis.
	I Putu Yudi Oktavian merupakan mahasiswa S1 program studi farmasi di Universitas Udayana pada tahun 2018 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 7 dengan peminatan bidang farmasi analisis.
	Ni Luh Gede Lisdiantari merupakan mahasiswa S1 program studi kimia di Universitas Udayana pada tahun 2019 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 5.
	I Gede Nengah Wika Gunawan merupakan mahasiswa S1 program studi teknik mesin di Universitas Udayana pada tahun 2019 dan saat ini masih menempa ilmu di semester 5.