

Analisis Sifat Fisis dan Mekanik Biodegradable Foam Berbahan Dasar Selulosa Jerami Padi dan Polivinyl Alkohol

Helmi Haiqal, Muldarisnur*

Laboratorium Fisika Material, Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 07 Agustus 2023
Direvisi: 30 Agustus 2023
Diterima: 20 September 2023

Kata kunci:

Degradasi
Biofoam
Serat Jerami
Polivinyl Alkohol

Keywords:

Degradation
Biofoam
Straw fiber
Polivinyl alcohol

Penulis Korespondensi:

Muldarisnur
Email:
muldarisnur@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis sifat fisis dan mekanik *biodegradable foam* berbahan dasar selulosa jerami padi dengan matriks pengikat *polivinyl alcohol*. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan bahan pengganti *styrofoam* yang dinilai tidak ramah lingkungan dan membahayakan bagi kesehatan. Komposisi serat jerami dan *polivinyl alcohol* divariasikan dengan perbandingan massa campuran bahan serat jerami padi dan PVA (%) 40:20%, 30:30%, 20:40%, 50:10%, dengan ukuran serat lolos ayakan 80 mesh. Hasil karakterisasi menggunakan FT-IR menunjukkan hasil kandungan gugus fungsi terbanyak adalah karbon (C) dimana hasil ini sesuai dengan kandungan *biofoam* konvensional yang terdiri dari unsur karbon (C) dan hidrogen (H). Nilai kekuatan tarik *biofoam* tertinggi pada fraksi perbandingan (20:40%) sebesar 18,11 MPa. Persentase penyerapan air *biofoam* tertinggi diperoleh pada fraksi perbandingan (50:10%) sebesar 0,8928% pada sampel perlakuan dan 1,1928% pada sampel tanpa perlakuan. Persentase kadar air *biofoam* paling mendekati kadar air *biofoam* konvensional diperoleh pada fraksi perbandingan (40:20%) sebesar 0,78%. Laju degradasi tertinggi diperoleh pada sampel dengan fraksi perbandingan (50:10%) sebesar 0.04237%/hari pada sampel perlakuan dan 0.06403%/hari pada sampel tanpa perlakuan. Hasil penelitian ini menyatakan *biofoam* yang dihasilkan tidak mengandung zat berbahaya setelah dilakukan identifikasi gugus fungsi menggunakan uji FT-IR, kekuatan tarik *biofoam* masih belum memenuhi standar bioplastik SNI 7188.7:2016.

Research has been carried out on analyzing the physical and mechanical properties of biodegradable foam made from rice straw cellulose with a polyvinyl alcohol binding matrix. This study aims to produce a substitute for styrofoam, which is considered not environmentally friendly and harmful to health. The composition of straw fiber and polyvinyl alcohol was varied by the mass ratio of the mixture of rice straw fiber and PVA (%) 40:20%, 30:30%, 20:40%, 50:10%, with the size of the fiber passing through the 80 mesh sieve. The results of the characterization using FT-IR showed that the highest content of functional groups was carbon (C), which corresponds to the content of conventional biofoam, which consists of the elements carbon (C) and hydrogen (H). The highest biofoam tensile strength value is in the comparative fraction (20:40%) of 18.11 MPa. The highest percentage of biofoam water absorption was obtained in the fraction ratio (50:10%) of 0.8928% in the treated sample and 1.1928% in the untreated sample. The percentage of biofoam water content closest to conventional biofoam water content is obtained at a fraction ratio (40:20%) of 0.78%. The highest degradation rate was obtained in samples with a comparative fraction (50:10%) of 0.04237%/day in treated and 0.06403%/day in untreated samples. The results of this study stated that the resulting biofoam did not contain harmful substances. After identifying the functional groups using the FT-IR test, the tensile strength of biofoam still did not meet the SNI 7188.7: 2016 bioplastic standard.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Styrofoam merupakan sejenis plastik yang lazim digunakan sebagai bahan pelindung dan penahan getaran barang yang mudah pecah seperti pengemasan pada peralatan elektronik. Saat ini, *styrofoam* mulai banyak digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman (Rianda dkk., 2020). Bahan baku utama pembuat plastik termasuk *styrofoam* berasal dari minyak bumi yang keberadaannya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui. Selain itu, *styrofoam* terbukti tidak ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan *styrofoam* membutuhkan waktu agar dapat terurai dalam kurun waktu 500 tahun sehingga menghasilkan penumpukan limbah yang sulit terurai. Akibatnya *styrofoam* dikategorikan sebagai penghasil limbah berbahaya terbesar ke tiga setelah plastik dan sedotan informasi ini dikutip dari *U.S Environmental Protection Agency* (Wirahadi, 2017).

Styrofoam termasuk kedalam bahan yang tergolong berbahaya bagi kesehatan manusia karena adanya aktivitas migrasi residu monomer stirena yang merupakan unit penyusun polistirena (PS) bersifat karsinogenik. Monomer-monomer tersebut bisa tercampur ke dalam makanan dan selanjutnya akan masuk ke dalam tubuh orang yang mengonsumsinya (Maulida dkk., 2022). Selain hal yang telah disebutkan, tantangan lingkungan, ekonomi dan kesehatan telah mendorong banyak peneliti untuk mengganti sebagian polimer berbasis petrokimia dengan jenis lain yang bersifat mudah terdegradasi secara alami, seperti *biodegradable foam (biofoam)* (Richana, 2016).

Salah satu serat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pembentuk *biofoam* adalah jerami padi. Jerami padi merupakan limbah lignoselulosa yang melimpah di dunia dan cenderung kurang dimanfaatkan. Jerami mengandung sekitar 32 – 47% selulosa sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi untuk bioplastik atau *biofoam*. Selulosa jerami padi telah dimanfaatkan untuk pembuatan bioplastik selulosa dengan tambahan kitosan dan gliserol. Bioplastik yang dihasilkan memiliki kuat tarik terbesar 4,2 MPa dan daya serap air dari variasi campuran kitosan dan pulp selulosa (3:10) diperoleh persen daya serap air sebesar 154,65%, (Pratiwi dkk., 2016).

Penelitian sebelumnya (Akmala & Supriyo, 2020) telah melakukan pengembangan produk *biodegradable foam* berbahan baku campuran tapioka dan ampok diperoleh karakteristik bahan baku dan kondisi proses pembuatannya. Tapioka memiliki kadar pati lebih tinggi (97,89%) dibandingkan ampok (69,26%), sebaliknya ampok memiliki kadar lemak, protein dan serat (8,90%, 11,18% dan 7,96%) yang lebih besar dibandingkan tapioka (0,19%, 0,55% dan 1,27%). Perbedaan komposisi ini berpengaruh terhadap karakteristik *biofoam* yang dihasilkan, penambahan ampok hingga 75% berpengaruh terhadap peningkatan hidrofobisitas *biofoam* dengan menurunkan daya serap airnya dari 59,49% menjadi 44,17%. Selain itu, penambahan ampok juga meningkatkan *biodegradabilitas foam* khususnya pertumbuhan kapang yang meningkat dari 6,67% menjadi 90%.

Müller dkk.(2012) melakukan metode *thermopressing* untuk mengevaluasi pengaruh suhu ekstrusi terhadap kristalinitas campuran termoplastik Pati/Poli (asam laktat) pada suhu 120°C dan 160°C dengan massa campuran (0,30 g gliserol dicampur 0,70 g pati) dimasukkan sebagai bahan plasticizer, dimana plasticizer merupakan bahan tambahan untuk meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan dari suatu material. gliserol menunjukkan hasil pada spesimen yang dianalisis, dengan nilai perpanjangan putus meningkat dari 13 menjadi 23 mm, hal ini terjadi karena penyerapan air yang tinggi dalam sampel meningkatkan efek plastisasi.

Polivinyl Alcohol (PVA) merupakan polimer sintesis yang mudah larut dalam air dan dapat terdegradasi secara alami (*biodegradable*). Hal ini menyebabkan PVA banyak digunakan sebagai bahan kemasan alternatif karena tahan terhadap minyak dan lemak serta memiliki kekuatan tarik dan fleksibilitas yang tinggi, Percobaan dilakukan Iriani dkk.(2015) dengan mencampurkan larutan PVA dengan nanoselulosa serat kristalinitas dan morfologi pada serat nanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanoselulosa serat nanas 10-40% dapat meningkatkan kuat tarik dan elongasi, namun penambahan nanoselulosa serat nanas hingga 50% justru menurunkan nilai elongasi.

Berdasarkan uraian-uraian di atas, perlu dilakukan penelitian pembuatan *biofoam* berbahan dasar alami sebagai pengisi serta penguat lapisan pada *biofoam*. Penelitian kali ini menggunakan serat jerami padi dan penambahan *polivinyl alcohol* (PVA) sebagai pengikat film pada serat menggunakan metode pencetakan *thermopressing* untuk mencetak sampel. Metode ini dipilih supaya diperoleh produk *biofoam* dengan karakteristik lebih baik meliputi sifat fisis, mekanik, dan juga bersifat *biodegradable*. *Biofoam* yang dihasilkan pada penelitian kali ini diharapkan dapat menjadi produk

pengganti *styrofoam*, dimana produk *biofoam* lebih baik dari segi keramahan lingkungan maupun dari segi ke sehatan.

II. METODE

2.1 Persiapan Serat dan Pembuatan *Biofoam*

Jerami padi terlebih dahulu dipreparasi dengan cara dicuci menggunakan air panas hingga bersih, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari sampai kering, Jerami padi yang telah dipreparasi direndam dalam NaOH 12% selama 3 jam kemudian dicuci sampai netral, bahan dipucatkan (bleaching) dengan H₂O₂ 10% selama 1,5 jam kemudian dicuci sampai netral, perlakuan hidrolisis asam menggunakan H₂SO₄ dengan konsentrasi 64% selama 45 menit. Kemudian dicuci sampai pH netral, Jerami padi dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 30 °C agar kandungan ligninnya tidak hilang (degredasi)(Dewanti, 2018), Jerami padi dihaluskan dengan blender sampai lolos pada ayakan mesh 80, sehingga diperoleh serat jerami padi.

Ditimbang bahan dasar sebagai penguat yaitu: serat jerami padi dan PVA dengan persentase variasi komposisi (20:40%, 30:30%, 40:20%, 50:10%), dilarutkan perekat PVA dengan aquadest kemudian diaduk hingga merata, dicampurkan bahan serat jerami padi dan PVA dengan pencampuran basah (wet mixing) diaduk hingga homogen selama 30 menit, Setiap variasi campuran serat jerami dan PVA ditambahkan campuran pati dengan massa campuran pati+air sebanyak 35% = 17,5 gram, magnesium stearat 5% = 2,5 gram, setelah itu semua bahan diaduk hingga homogen, foam dituang ke dalam cetakan, kemudian ditekan dengan plat besi pada sisi atas dan bawah masing-masing berdimensi 15 cm x 10 cm dengan ketebalan 0,5 cm kemudian untuk penentuan proses thermopressing pada suhu (200 °C), lama waktu proses (15 menit), sampel dilepaskan dari cetakan dan didinginkan pada suhu ruangan selama 24 jam, Sampel yang diperoleh siap dilakukan analisis sifat fisik dan mekanik.

2.2 Pengujian dan Pengambilan Data

2.2.1 Uji Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)

Pengujian FT-IR dilakukan untuk mengidentifikasi material yang tidak diketahui yang terkandung pada sampel, memastikan sampel yang dihasilkan terbebas dari kandungan zat berbahaya. Sampel dimasukkan dalam instrumen analisis, dicari spektrum yang sesuai, Hasil yang di dapat berupa difraktogram hubungan antara bilangan gelombang dengan intensitas, dihitung gugus fungsi pada grafik bilangan gelombang dengan melihat serapan (*peak*) pada grafik untuk mengidentifikasi kandungan pada *biofoam* yang dihasilkan.

2.2.2 Uji Kadar Air (*Moisture Content*)

Pengujian kadar air sangat berpengaruh terhadap daya simpan bahan. Makin tinggi kadar air suatu bahan maka makin besar pula kemungkinan bahan tersebut rusak. Hal ini juga berpengaruh pada *biofoam* dimana *biofoam* merupakan bahan kemasan makanan yang berasal dari bahan alami untuk pembuatannya, sehingga setelah proses pencetakan *biofoam* yang dihasilkan harus memiliki sedikit kandungan air agar bahan bisa digunakan dan tidak mengalami kerusakan. Pengujian kadar air dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\% \text{ Kadar air} = \frac{W - W_1}{W} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan W adalah massa sampel sebelum penyerapan, W_1 adalah massa setelah penyerapan.

2.2.3 Uji Densitas

Densitas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kerapatan suatu bahan. Pengukuran yang diukur yaitu massa setiap satuan volume benda. Kerapatan suatu bahan berpengaruh terhadap sifat mekanik bahan tersebut, semakin rapat suatu bahan maka semakin meningkatkan sifat mekaniknya. Pengujian densitas dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\rho = \frac{\text{massa sampel}}{\text{volume sampel}} \quad (2)$$

Dengan ρ adalah nilai densitas bahan (g/cm³).

2.2.4 Uji Penyerapan Air (*Water Absorption*)

Uji *water absorption* bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam menyerap air, percobaan ini dilakukan dengan cara menghitung perubahan massa yang terjadi akibat banyaknya air yang diserap oleh *biofoam*. Persentase daya serap dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\% \text{ Daya serap} = \frac{W_0 - W}{W} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan W_0 = massa sampel awal (g) W = massa sampel setelah penyerapan (g).

2.2.5 Uji Biodegradasi

Pengujian biodegradasi dilakukan untuk mengetahui laju perubahan massa *biofoam* setelah proses penguburan. Pengujian dilakukan dengan cara mengubur sampel di dalam tanah sedalam 10 cm dalam rentang waktu 42 hari. Sebelum sampel dikubur, massa sampel ditimbang terlebih dahulu sebagai massa awal. Setelah dikubur selama 42 hari kemudian massa sampel ditimbang lagi sebagai massa akhir untuk mengetahui banyak massa sampel terdegradasi. Persentase kehilangan massa dapat dihitung dengan persamaan 4.

$$\% \text{ pengurangan massa} = \frac{m_i - m_f}{m_k} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan massa sampel sebelum proses biodegradasi m_i (g) dan massa sampel setelah proses biodegradasi m_f (g). Degradasi sampel didapatkan dengan membagi persen massa dengan waktu penguburan, nilai degradasi diperoleh dengan persamaan 5.

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{\% \text{ pengurangan massa}}{\text{waktu pengurangan}} \quad (5)$$

2.2.6 Uji Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh komposisi volume serat yang digunakan terhadap kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas dari masing-masing spesimen uji. Pengujian kuat tarik menggunakan skema spesimen sesuai standar ASTM D638-14. Data hasil pengujian kuat tarik dapat dihitung menggunakan Persamaan 6.

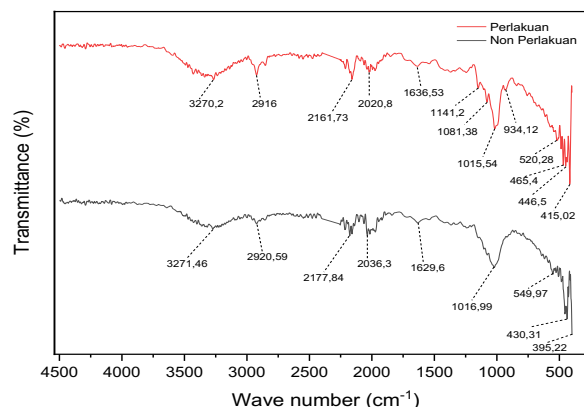
$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (6)$$

Dengan σ adalah kekuatan tarik bahan ($N \cdot m^{-2}$), F_{maks} adalah nilai tegangan maksimum (N) dan A_0 adalah luas penampang mula-mula (m^2).

III. HASIL dan DISKUSI

3.1 Analisis Uji Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)

Pada Gambar 1 dapat disampaikan bahwa bahan penyusun *biofoam* tidak banyak mengalami perubahan kandungan senyawa baik pada sampel perlakuan maupun senyawa sampel tanpa perlakuan.

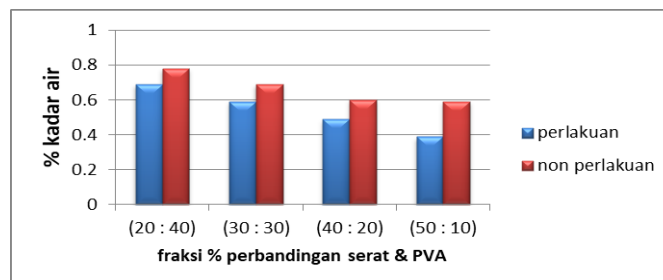


Gambar 1 Perbandingan gugus fungsi sampel *biofoam* dengan perlakuan dan tanpa perlakuan

Hasil ini ditandai dengan masih teridentifikasinya gugus senyawa dari *biofoam* berupa regang molekul O-H berada pada rentang gelombang 4000 - 2500 cm^{-1} terdapat *peak* pada *biofoam* yang dicetak dengan perlakuan diperoleh nilai bilangan gelombang (3270,2 cm^{-1} , 2916 cm^{-1}) dan (3271,46 cm^{-1} , 2920,29 cm^{-1}) pada sampel non perlakuan. Puncak vibrasi ini teridentifikasi karena adanya kandungan alkohol (-OH) dalam *biofoam* yang berasal dari serapan molekul air pada campuran serat dan PVA. Hasil ini menandakan tidak terdapat unsur berbahaya dalam kandungan *biofoam* pada penelitian kali ini dikarenakan unsur kandungan produk *biofoam* pada umumnya yaitu berupa unsur karbon (C) dan hidrogen (H) yang merupakan senyawa umum dari penyusun *biofoam* (Coniwanti dkk., 2018). Keberadaan gugus O-H dan C-O menandakan *biofoam* mudah terdegradasi dalam tanah. Hal ini dikarenakan O-H dan C-O bersifat mudah menyerap air (hidrofilik) (Darni dkk., 2018).

3.2 Analisis Uji Kadar Air (*Moisture Content*)

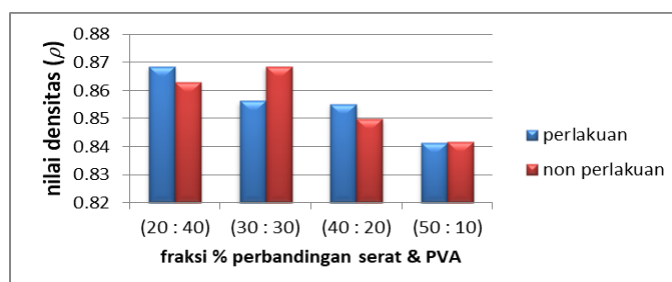
Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan serat, maka kadar air dalam produk semakin rendah. Nilai kadar air pada penelitian ini berkisar antara 0,39% - 0,69% pada sampel perlakuan dan 0,59% - 0,78% untuk sampel non perlakuan. penelitian kali ini menggunakan metode cetak *thermopressing* dengan suhu 200 $^{\circ}\text{C}$ dan waktu untuk pencetakan sampel 15 menit, sampel diberi tekanan dan panaskan menyebabkan penguapan kadar air yang terkandung dalam sampel berkurang sangat besar. Kadar air *biofoam* yang dihasilkan pada penelitian ini lebih rendah dari nilai kadar air *styrofoam* konvensional dimana nilai kadar air *styrofoam* konvensional bernilai sebesar (1,11%) (Bahri dkk., 2021). Nilai kadar air tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada sampel dengan perbandingan serat dan PVA (20%:40%) sampel yang dicetak dengan perlakuan yaitu sebesar 0,78%.



Gambar 2 Pengaruh fraksi campuran bahan variasi serat & PVA terhadap nilai kadar air

3.3 Analisis Uji Densitas

Gambar 3 menunjukkan penurunan nilai densitas setiap pertambahan jumlah serat.



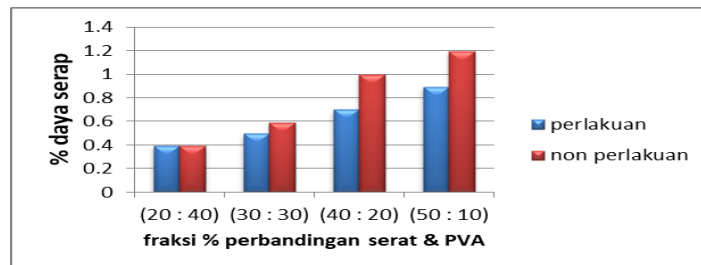
Gambar 3 Pengaruh fraksi campuran bahan variasi serat & PVA terhadap nilai densitas

Densitas terendah terdapat pada sampel dengan perbandingan serat dan PVA (50:10) yaitu sebesar 0,8413 g/cm^3 pada sampel dengan perlakuan dan 0,8417 g/cm^3 pada sampel non perlakuan. Pengaruh banyak serat dalam suatu bahan menjadi faktor pengurangan nilai densitas pada sampel dikarenakan kurangnya matriks pengikat yang terkandung dalam sampel.

3.4 Analisis Uji Daya Serap

Gambar 4 berikut bisa dilihat penyerapan air pada *biofoam* meningkat seiring pertambahan jumlah serat yang terkandung dalam sampel, peningkatan daya serap diakibatkan karena sifat hidrofilik serat jerami yang meningkatkan kemampuan sampel menyerap air. Daya serap tertinggi diperoleh pada sampel dengan perbandingan serat dan PVA (50:10%) dengan nilai daya serap sebesar

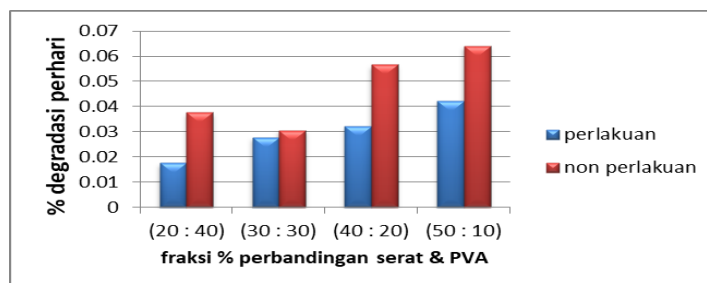
0,8928% pada sampel dengan proses perlakuan dan 1,1928% pada sampel tanpa perlakuan. Data ini membuktikan pengaruh perlakuan sampel pada serat sebelum proses pencetakan berpengaruh terhadap sifat fisis sampel. Dimana sampel tanpa perlakuan serat sebelum pencetakan cenderung memiliki daya serap lebih besar dibandingkan sampel dengan perlakuan, hasil ini membuktikan ikatan matriks dan serat lebih rapat untuk sampel tanpa perlakuan sehingga mengurangi daya serap sampel yang dihasilkan.



Gambar 4 Pengaruh fraksi campuran bahan variasi serat & PVA terhadap nilai daya serap

3.5 Analisis Uji Biodegradasi

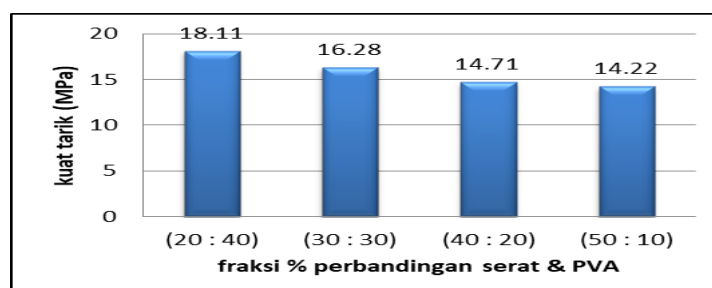
Gambar 5 berikut dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan laju degradasi seiring dengan pertambahan jumlah serat dalam sampel. Laju degradasi tertinggi terdapat pada sampel dengan perbandingan serat dan PVA (50:10) nilai laju degradasi diperoleh sebesar 0.04237% /hari pada sampel dengan perlakuan dan 0.06403% /hari pada sampel tanpa perlakuan. Laju degradasi terjadi karena adanya mikroba yang terurai, mikroba ini sangat berperan penting dalam laju degradasi karena mikroba menyukai kandungan selulosa pada serat. Selain itu untuk memaksimalkan laju degradasi, sampel ditambahkan dengan pati singkong. Penggunaan pati singkong juga dapat membantu laju degradasi dikarenakan pati singkong mengandung banyak karbohidrat yang juga disukai oleh mikroba. Faktor lain yang dapat mempengaruhi yaitu kelembaban tanah, dengan kondisi ini dapat membantu mikroba untuk berkembangbiak.



Gambar 5 Pengaruh fraksi campuran bahan variasi serat & PVA terhadap nilai degradasi

3.6 Analisis Uji Kuat Tarik

Gambar 6 berikut terlihat bahwa hubungan antara fraksi volume serat & PVA terhadap nilai kuat tarik dimana semakin besar fraksi volume serat maka nilai kuat tarik akan semakin lemah dan begitu terjadi sebaliknya.



Gambar 6 Pengaruh fraksi campuran bahan variasi serat & PVA terhadap nilai kuat tarik

Hal ini disebabkan karena penyusunan serat yang terlalu banyak dapat mengurangi daya ikat serat dengan matriks. Pada proses pencetakan *biofoam*, Penggunaan serat yang terlalu banyak menghambat transfer panas ke seluruh bagian sampel saat proses pencetakan sehingga menyebabkan

ikatan matriks dan serat menjadi renggang. Pengujian kuat tarik pada fraksi volume serat dan PVA dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi volume (20 : 40) yaitu sebesar 18,11 MPa dan kekuatan tarik terendah terdapat pada fraksi volume (50 : 10) sebesar 14,22 Mpa. Berdasarkan standar bioplastik SNI 7188.7:2016 besarnya nilai kuat tarik untuk plastik adalah 24,7 - 302 MPa. Produk *biofoam* pada penelitian ini belum mencapai standar. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada sampel dengan persentase campuran serat dan PVA (20:40%) sebesar 18,11 MPa.

IV. KESIMPULAN

Hasil karakterisasi menggunakan FT-IR dapat diketahui bahwa kandungan *biofoam* yang dihasilkan aman bagi kesehatan, hasil ini ditandai dengan banyaknya unsur karbon (C) terdapat pada hasil pembacaan kandungan gugus fungsi, Perlakuan serat sebelum pencetakan berpengaruh terhadap sifat fisis sampel, Nilai kuat tarik berkurang seiring bertambahnya jumlah serat. Untuk nilai kuat tertinggi yaitu 18,11 Mpa terdapat pada fraksi volume serat dan PVA (20 : 40) dimana hasil ini belum mencapai nilai kuat tarik standar bioplastik SNI 7188.7:2016 yaitu sebesar 24,7 - 302 MPa. Peningkatan kandungan serat pada sampel dapat meningkatkan laju degradasi *biofoam*.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmala, A., & Supriyo, E. (2020). Optimasi Konsentrasi Selulosa pada Pembuatan Biodegradable Foam dari Selulosa dan Tepung Singkong. *Pentana: Jurnal Penelitian Terapan*, 01(1), 27–40. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pentana/article/view/11597>
- Bahri, S., Fitriani, F., & Jalaluddin, J. (2021). Pembuatan Biofoam Dari Ampas Tebu Dan Tepung Maizena. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 24. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4173>
- Darni, Y., Lestari, H., Lismeri, L., Utami, H., & Azwar, E. (2018). Aplikasi Mikrofibril Selulosa dari Batang Sorgum Sebagai Bahan Pengisi pada Sintesis Film Bioplastik Application of Cellulose Microfibrils from Sorghum Stem as Filler in Bioplastic Film Synthesis. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 13(1), 15–23.
- Dewanti, D. P. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i1.2644>
- Iriani, E. S., Wahyuningsih, K., Sunarti, T. C., & Permana, A. W. (2015). Sintesis Nanoselulosa Dari Serat Nanas Dan Aplikasinya Sebgainanofillerpada Film Berbasis Polivinil Alkohol. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 12(1), 11. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v12n1.2015.11-19>
- Maulida Setiawan, M., Suparni, S., & Asih, T. N. (2022). Pengetahuan dan Sikap Masyarakat terhadap Penggunaan Styrofoam sebagai Wadah Makanan. *Jurnal Sehat Masada*, 16(1), 223–232. <https://doi.org/10.38037/jsm.v16i1.289>
- Müller, C. M. O., Pires, A. T. N., & Yamashita, F. (2012). Characterization of thermoplastic starch/poly(lactic acid) blends obtained by extrusion and thermopressing. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(3), 426–434. <https://doi.org/10.1590/s0103-50532012000300008>
- Pratiwi, R., Rahayu, D., & Barliana, M. I. (2016). Pemanfaatan Selulosa Dari Limbah Jerami Padi (*Oryza sativa*) Sebagai Bahan Bioplastik. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 3(3), 83. <https://doi.org/10.15416/ijpst.v3i3.9406>
- Rianda, N., Armin, F., & Djamaan, A. (2020). Macroplastic and Microplastic Analysis of Marine Fish and Aquatic Fish Using the Fourier Transform Infrared Spectrophotometry (FTIR) Method. *IOSR Journal Of Pharmacy And Biological Sciences*, 15(3), 15–22. <https://doi.org/10.9790/3008-1503051522>
- Iriani, E. S., Richana, N., & Sunarti, T. C. (2016). Pengembangan Biodegradable Foam Berbahan Baku Pati. In *Buletin Teknologi Pasca Panen* (Vol. 7, Issue 1, pp. 30–40).
- Wirahadi, M. (2017). Elemen Interior Berbahan Baku Pengolahan Sampah Styrofoam Dan Sampah Kulit Jeruk. *Jurnal Intra*, 5(2), 144–153.