



Karakteristik komposit *bio-foam* pati-glukomanan pada variasi formulasi perbandingan *foaming agent* natrium bikarbonat dengan asam sitrat

I Wayan Arnata^{*}; Early Dea Kartika Fiano; I Gusti Ayu Lani Triani

Teknologi Industri Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Indonesia

Article history

Diterima:
2 April 2024
Diperbaiki:
9 Mei 2024
Disetujui:
28 Agustus 2024

Keyword

Bio-foam;
Citric acid;
Foaming agent;
Sodium bicarbonate

ABSTRACT

Styrofoam food packaging has many advantages. However, it has been reported to be hazardous to health and the environment, so it is necessary to develop bi-foam as a safe packaging alternative. This research aims to determine the effect of variations in the formulation ratio of foaming agents based on sodium bicarbonate (NaHCO_3) and citric acid (CA) on the starch-glucomannan bio-foam characteristics and to determine the appropriate comparison formulation to produce the best bio-foam characteristics. This research used a randomized block design with treatment formulation variations of NaHCO_3 and CA ratio, consisting of 5 levels, namely 8:4, 8.5:3.5, 9:3, 9.5:2.5, and 10:2. Each treatment was grouped into three so that 15 experimental units were obtained. The variables observed were density, tensile strength, compressive strength, water adsorption capacity, and functional groups by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), surface morphology by Scanning Electron Microscope (SEM), and thermal stability by Thermogravimetric Analyzers/ Differential Thermogravimetric (TGA/DTG). The research results showed that the foaming agent formulation from NaHCO_3 /CA significantly affected the density, tensile strength, compressive strength, and water adsorption capacity of the starch-glucomannan bio-foam. Bio-foam with a NaHCO_3 /CA ratio of 8:4 has the properties of low water adsorption capacity, high tensile strength, and compressive strength but has the disadvantage of a relatively high-density value. The NaHCO_3 /CA (8:4) produces the best characteristics with a density of 0.36 g/cm^3 , water adsorption capacity of 2.95%, tensile strength of 0.22 MPa, and compressive strength of 1.48 MPa. FTIR analysis shows changes in the spectral intensity of the functional groups of the bio-foam polymer as an indication that interaction has occurred between the functional groups of each polymer. SEM analysis shows that bio-foam, adding a NaHCO_3 /CA, produces a relatively rougher and more porous surface. At the same time, its thermal stability is lower than that of bio-foam without adding a foaming agent.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

^{*} Penulis korespondensi
Email : arnata@unud.ac.id
DOI 10.21107/agrointek.v19i1.25350

PENDAHULUAN

Kemasan digunakan untuk melindungi produk dari kerusakan luar serta hal-hal yang dapat menurunkan kualitas mutu produk seperti kontaminasi bakteri, kotoran, benturan, kelembaban udara, panas, dan sinar ultraviolet (Widiati 2020). Kemasan sekali pakai berbahan *styrofoam* sering dipilih karena memiliki banyak kelebihan seperti tidak berkarat, harga ekonomis, kedap suara, tahan air, ringan, dan mudah dibentuk (Andersen 2011). Namun, *styrofoam* memiliki kekurangan seperti bersifat karsinogenik, khususnya pada makanan yang berkuah atau mengandung air yang digunakan pada suhu tinggi (Mukminah 2019), tingkat degradasi yang rendah (Sumardiono et al. 2021), kandungan stirena berdampak buruk pada pernapasan manusia akibat pembakaran *styrofoam* (Harefa et al. 2019), dan menyebabkan iritasi kulit, mata, serta kanker pada penggunaan yang berlebih (Mukminah 2019). Berkaitan dengan permasalahan ini, maka pengembangan *bio-foam* sebagai kemasan yang ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan perlu dilakukan untuk mengurangi atau mensubsitusi penggunaan kemasan *styrofoam* sekali pakai.

Penelitian pengembangan *bio-foam* telah banyak dilaporkan diantaranya *bio-foam* dari pati singkong (Vercelheze et al. 2012, Kaisangsri et al. 2014), pati kentang (Cinelli et al. 2006, Darder et al. 2017, Zhang et al. 2023), protein gandum (Alander et al. 2018, Federico et al. 2022), tanin (Čop et al. 2015), dan mikrobia kapang (Alshaeer et al. 2023). Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *bio-foam* telah banyak dibuat dengan berbagai bahan, namun secara umum, *bio-foam* masih memiliki beberapa kelemahan seperti mudah patah, densitas, dan daya serap air (DSA) yang tinggi (Ferdiansyah et al. 2022). Dengan demikian, pembuatan kemasan *bio-foam* masih perlu pengembangan lebih lanjut untuk menghasilkan karakteristik *bio-foam* yang sesuai dengan standar *bio-foam*. Karakteristik *bio-foam* dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya konsentrasi dan jenis matrik komposit, agen penguat, pelarut, dan metode proses pencetakan (Federico et al. 2022). Selain faktor-faktor tersebut, karakteristik *bio-foam* juga dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi *foaming agent* (Alshaeer et al. 2023). *Foaming agent* yang digunakan dalam pembuatan *bio-foam* terbagi dalam dua kategori yaitu sintetis (n-butana, n-pentana) dan alami (*hydrolyzed protein*,

proteinbased detergent, *glue resin*, *soap resin* dan saponin) (Lubis et al. 2019, Sarlinda et al. 2022). Umumnya, *foaming agent* sintetis terbuat dari minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui, mempunyai daya kembang tinggi dengan densitas *foam* rendah dan menghasilkan ukuran morfologi *foam* seragam dengan sifat fisik, mekanik, dan termal relatif lebih tinggi, namun bahannya tidak terdegradasi sehingga berpotensi besar menyebabkan permasalahan lingkungan. Sebaliknya, *foaming agent* alami berasal dari bahan-bahan yang terbaharui, mempunyai daya kembang lebih rendah dengan densitas *foam* relatif tinggi dan menghasilkan karakteristik fisik, mekanik, dan termal relatif lebih rendah, namun mempunyai sifat terdegradasi dan ramah terhadap lingkungan. Kondisi ini menyebabkan penggunaan *foaming agent* alami perlu diteliti lebih lanjut sehingga mampu memperbaiki karakteristik *bio-foam*. Umumnya, *foaming agent* akan berpengaruh terhadap nilai porositas dan densitas *bio-foam* (Chen et al. 2022). Formulasi *foaming agent* yang tepat diharapkan dapat menurunkan densitas dengan tetap mempertahankan atau meningkatkan karakteristik fisik mekanik *bio-foam*.

Beberapa penelitian pembuatan *bio-foam* dengan berbagai jenis *foaming agent* telah dilaporkan, diantaranya pembuatan *bio-foam* dari pati sagu terasetilasi dengan penambahan *foaming agent* NaHCO_3 dan asam sitrat (AS) sebesar 12%b/b menghasilkan kuat tarik sebesar 0,54 MPa dan densitas $1,07 \text{ g/cm}^3$ (Hendrawati et al. 2020). Lebih lanjut dilaporkan bahwa peningkatan konsentrasi NaHCO_3/AS sebagai *foaming agent* menyebabkan penurunan kuat tarik dan nilai densitas, namun meningkatkan kemampuan degradasi dan DSA. Selanjutnya, penelitian Ferdiansyah et al. (2022) membuat komposit *bio-foam* dengan pati dan glukomanan dengan penambahan *foaming agent* sorbitol dan diisosianat 11,33%b/b menghasilkan nilai kuat tarik 0,007 MPa, ketahanan sobek 0,005 MPa, densitas $0,20 \text{ g/cm}^3$, dan *swelling* 0,55%. Penelitian yang dilakukan oleh Sarlinda et al. (2022) pada pembuatan *bio-foam* dengan bahan utama pati kulit singkong dan serat kulit kopi, dengan air sebagai *blowing agent* menghasilkan DSA tinggi yaitu sebesar 28,87% dan kuat tarik sebesar 2,70 MPa.

Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *foaming agent* pada konsentrasi dan jenis matriks komposit yang

berbeda-beda menghasilkan karakteristik *bio-foam* yang bervariasi dan belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 7323:2008, sehingga penentuan formulasi NaHCO_3/AS yang tepat untuk menghasilkan karakteristik *bio-foam* yang sesuai perlu dilakukan. Selain itu, pembuatan *bio-foam* dari matrik pati dan glukomanan dengan *foaming agent* NaHCO_3/AS belum pernah diketahui dan dilaporkan kondisi optimalnya, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memperbaiki karakteristik *bio-foam*. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi formulasi NaHCO_3/AS terhadap karakteristik *bio-foam* dan menentukan NaHCO_3/AS yang tepat untuk menghasilkan karakteristik *bio-foam* terbaik. Karakteristik *bio-foam* diamati terhadap densitas, kuat tarik, kuat tekan, DSA, perubahan gugus fungsional, morfologi permukaan, kekasaran permukaan, dan stabilitas termalnya.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini tapioka (*Rose Brand*), tepung glukomanan porang (*Gut living Indonesia*), asam sitrat (AS) (Cap Gajah), NaHCO_3 (Koepoe-Koepoe), polivinil alkohol (PVA) dari Merck, selulosa ongkok singkong diperoleh dari industri tapioka Kabupaten Bogor, sorbitol, diisosianat, akuades diperoleh dari Saba Kimia Denpasar, tisu kering, dan kertas roti (*Best Fresh*), dan pH meter (Hanna). Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sendok teh, *stopwatch*, timbangan analitik (Ohaus pioneer),

beaker glass 250 ml (Herma), gelas ukur 100 ml (Pyrex), batang pengaduk, pengaduk, pipet, oven, penggaris, sendok, gunting, alat pres, *hot plate* (98-V-B), termometer, *texture analyzer* (*Stable Micro Systems TA-Xt plus*).

Rancangan Penelitian

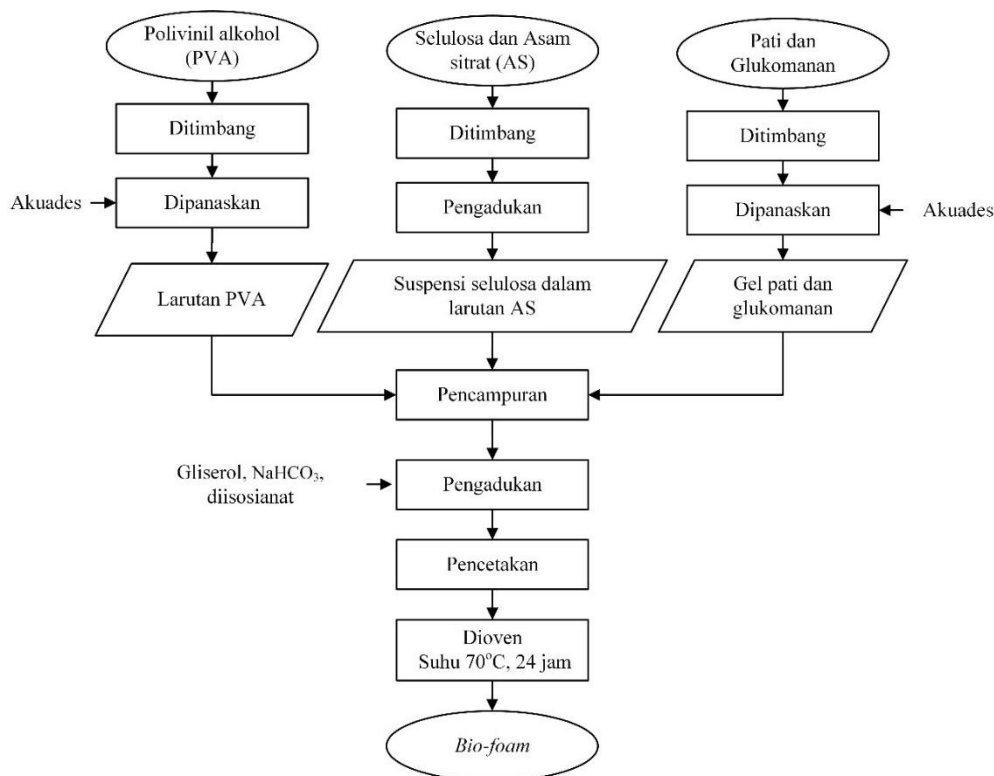
Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan faktor variasi formulasi NaHCO_3/AS yang terdiri dari 5 taraf formulasi (F) yaitu F1 (8:4), F2 (8,5:3,5), F3 (9:3), F4 (9,5:2,5), dan F5 (10:2). Masing-masing taraf dikelompokkan menjadi 3 berdasarkan waktu proses pembuatan sehingga diperoleh 15 unit percobaan. Data yang diperoleh dianalisis keragamannya dan jika perlakuan berpengaruh nyata akan dilanjutkan dengan uji perbandingan Beda Nyata Terkecil (BNT). Formulasi pembuatan *bio-foam* disajikan pada Tabel 1.

Isolasi Selulosa dari Ongkok Singkong

Pembuatan *bio-foam* diawali dengan isolasi selulosa dari ongkok singkong mengikuti penelitian Ferdiansyah et al. (2022) yang telah dimodifikasi, yaitu 150 g ongkok direbus selama 1 jam pada suhu 90-100°C menggunakan NaOH 10% (b/v) dengan perbandingan bahan dan pelarut yaitu 1:10. Selanjutnya dicuci bersih menggunakan akuades hingga pH netral, lalu dikeringkan. Setelah itu, ongkok di *bleaching* menggunakan H_2O_2 30% (v/v) selama 1 jam pada suhu 90-100°C dengan perbandingan bahan dan pelarut yaitu 1:10, lalu dicuci bersih menggunakan akuades hingga pH netral dan dikeringkan.

Tabel 1 Rancangan percobaan formulasi pembuatan *bio-foam*

| Bahan | Formulasi (F) dalam gram (g) | | | | |
|------------------|------------------------------|--------------|----------|--------------|-----------|
| | F1 (8:4) | F2 (8,5:3,5) | F3 (9:3) | F4 (9,5:2,5) | F5 (10:2) |
| Tapioka | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 |
| Glukomanan | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| Selulosa | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 |
| NaHCO_3 | 8,0 | 8,5 | 9,0 | 9,5 | 10,0 |
| AS | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 |
| PVA | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 |
| Gliserol | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| Diisosianat | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| Akuades | 93,0 | 93,0 | 93,0 | 93,0 | 93,0 |
| Total | 160,2 | 160,2 | 160,2 | 160,2 | 160,2 |



Gambar 1 Prosedur pembuatan bio-foam

Pembuatan *Bio-foam*

Pembuatan *bio-foam* mengikuti penelitian Putri et al. (2023) yang diawali dengan menyiapkan alat dan bahan, kemudian dilakukan penimbangan setiap bahan sesuai dengan formulasi pada Tabel 1, sehingga diperoleh total bahan 160,2 g untuk satu unit *bio-foam*. Tahap selanjutnya yaitu gelas beker diisi 93 ml akuades dan dipanaskan pada *hot plate* suhu 100°C. Selanjutnya, 9,6 g PVA dimasukkan ke dalam gelas beker dan diaduk menggunakan *hand mixer* hingga homogen. Selulosa sebanyak 4,8 g dan asam sitrat dimasukkan, kemudian diaduk hingga homogen. Selanjutnya, adonan didiamkan hingga mencapai suhu ruang. Setelah itu, 18 g tapioka dimasukkan secara bertahap dan diaduk hingga tidak ada yang menggumpal, 6 g glukomanan dimasukkan dan diaduk hingga homogen, selanjutnya dipanaskan pada suhu 60°C dan diaduk hingga tergelatinisasi. Selanjutnya, 8,4 g sorbitol ditambahkan dan diaduk hingga homogen, NaHCO₃ ditambahkan hingga adonan membentuk *foam* secara merata, lalu ditambahkan 8,4 diisosianat dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya, adonan dituang ke dalam cetakan dengan volume 12 cm x 12 cm x 2 cm. Adonan diratakan dan didiamkan selama 3 menit. Selanjutnya, adonan di-*press* selama 10 menit. Setelah proses pengepresan, *bio-foam* dikeluarkan

dari cetakan dan disusun pada loyang untuk dioven selama 24 jam pada suhu 70°C. Setelah 24 jam, *bio-foam* dilakukan pengujian. Diagram alir prosedur pembuatan *bio-foam* dapat dilihat pada Gambar 1.

Variabel yang Diamati

Pengujian awal *bio-foam* dilakukan terhadap variabel densitas, kuat tarik, kuat tekan, daya serap untuk menentukan perlakuan terbaik yang memenuhi atau mendekati nilai Standar Nasional Indonesia (SNI) 7323:2008 tentang plastik - wadah makanan dan minuman - *polystyrene foam*. Selanjutnya, perlakuan terbaik dianalisis meliputi gugus fungsional dengan FTIR, morfologi permukaan dengan SEM, dan stabilitas termal dengan (TGA/DTG). Analisis-*analisis* tersebut dibandingkan dengan karakteristik *bio-foam* tanpa penggunaan *foaming agent*.

- a) Densitas diuji dengan perbandingan antara massa benda per satuan volume, yaitu sampel dipotong dan ukur panjang, lebar dan tingginya, selanjutnya ditimbang untuk memperoleh bobot sampel. Densitas di hitung dengan formulasi $\rho = m/V$, dimana ρ adalah densitas (g/cm³), m adalah massa sampel (g), dan V adalah volume (cm³).
- b) Uji kuat tarik diuji dengan *texture analyzer*. *Bio-foam* dipotong pada ukuran 2 cm x 7 cm.

Dilakukan pengujian sampel yang telah dipotong sesuai dengan standar, lalu kedua ujung sampel dijepit oleh alat *texture analyzer*, kemudian *power supply* dan *set up* dinyalakan. Jarak maksimum, kecepatan pembebanan, jangkauan beban atau gaya diatur. Selanjutnya, sampel ditarik perlahan sampai terputus. Kuat tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut $\sigma = F_{maks}/A$, dimana σ adalah kuat tarik (N/mm²), F_{maks} adalah gaya maksimum (N), dan A adalah luas permukaan (mm²).

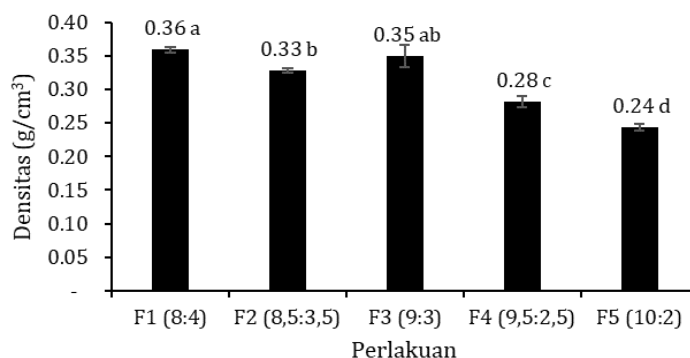
- c) Kuat tekan diuji dengan perbandingan antara beban maksimal per satuan luas (Sumardiono et al. 2021). *Bio-foam* dipotong pada ukuran 1 cm x 5 cm, dan diuji tekan dengan menggunakan *texture analyzer*. Kuat tekan dihitung dengan formulasi $\sigma = P/A_0$, dimana σ adalah kuat tekan (MPa), P adalah beban tekan (N), dan A_0 adalah luas permukaan (mm²),
- d) Pengujian DSA dilakukan dengan sampel dipotong pada ukuran 2,5 cm x 5 cm, Selanjutnya, sampel ditimbang sebagai berat awal (W_0), Sampel direndam di dalam air selama 1 menit dan ditimbang sebagai bobot akhir (W_1) (Hendrawati et al. 2020). DSA dihitung dengan formulasi $DSA (\%) = ((W_1 - W_0)/W_0) \times 100\%$, dimana W_0 adalah berat awal sampel dan W_1 adalah berat akhir sampel.
- e) Profil gugus fungsional diuji dengan FTIR untuk memperoleh spektra dari *bio-foam* menggunakan metode Kalium Bromida (KBr) disk. Sampel dihaluskan dan dicampur KBr dengan rasio sampel dan KBr 1:100. Selanjutnya, pengukuran dilakukan pada rentang bilangan gelombang 500-4000 cm⁻¹ dengan resolusi 4 cm⁻¹.
- f) Morfologi permukaan dan ukuran partikel dilakukan dengan menggunakan SEM (Kumar et al. 2019). Kekasaran permukaan *bio-foam* diukur dengan perangkat lunak ImageJ pada profil permukaan yang dihasilkan dari gambar SEM.
- g) Stabilitas termal dianalisis dengan menggunakan TGA/DTG Shimadzu DTG-60 Series antara 30°C - 500°C dengan laju pemanasan 10°C/menit dengan aliran gas nitrogen 110 ml/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

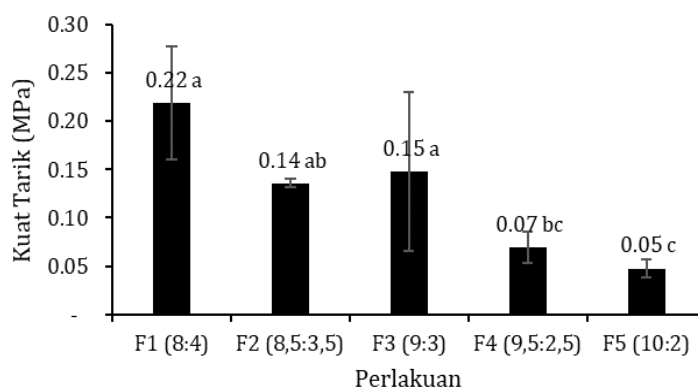
Densitas

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi formulasi NaHCO₃/AS berpengaruh sangat nyata terhadap densitas *bio-foam* ($p < 0,01$). Nilai densitas *bio-foam* berkisar antara $0,24 \pm 0,00 - 0,36 \pm 0,00$ g/cm³. Mengacu pada SNI 7323:2008 tentang wadah makanan dan minuman dari *polystyrene foam* sebesar maksimal 0,66 g/cm³ menunjukkan bahwa *bio-foam* ini telah memenuhi standar (Yuli et al. 2021). Nilai densitas *bio-foam* pada variasi formulasi NaHCO₃/AS disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa *bio-foam* dari formulasi F1 (8:4) menghasilkan densitas tertinggi sebesar $0,36 \pm 0,00$ MPa yang berbeda tidak nyata dengan F3 (9:3) sebesar $0,35 \pm 0,02$ g/cm³. *Bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) menghasilkan nilai densitas terendah yaitu $0,24 \pm 0,00$ g/cm³ yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa *bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) dengan NaHCO₃ yang lebih tinggi dan asam sitrat yang lebih rendah menghasilkan nilai densitas yang lebih kecil, sedangkan *bio-foam* dari formulasi F1 (8:4) dengan komposisi NaHCO₃ yang lebih rendah dan asam sitrat yang lebih tinggi dari formulasi lain menghasilkan nilai densitas tertinggi. Hal ini dikarenakan NaHCO₃ yang dikombinasikan dengan akuades sebagai pelarut dan asam sitrat sebagai aktivator menyebabkan pembentukan gas karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O) (Yuli et al. 2021), sehingga menghasilkan rongga atau pori-pori pada *bio-foam*. Rongga yang terbentuk terjadi akibat adanya uap air atau gas yang terperangkap oleh bahan dan membentuk gelembung pada saat gelatinisasi. Saat gelembung mengalami tekanan hingga pecah maka uap air akan keluar dan membentuk pori-pori. Semakin tinggi komposisi NaHCO₃, maka semakin rendah nilai densitas *bio-foam*. Senyawa asam sitrat berpengaruh terhadap nilai densitas karena asam sitrat dapat meningkatkan pengikatan silang antara pati dan asam sitrat (Utomo et al. 2020). Pengikatan silang meningkatkan viskositas pada saat proses pemanasan dengan suhu tinggi sehingga *bio-foam* pada F1 (8:4) dengan komposisi asam sitrat yang lebih besar dapat menghasilkan nilai densitas lebih tinggi dari pada formulasi lainnya. Konsentrasi NaHCO₃ yang rendah dan AS yang tinggi pada *bio-foam* pati-glukomanan ini diduga dapat menurunkan ukuran struktur pori, mengurangi porositas, dan menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi.



Gambar 2 Nilai densitas *bio-foam* pada variasi formulasi NaHCO₃/AS. (Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kesalahan 5%)



Gambar 3 Hasil uji kuat tarik pada variasi formulasi NaHCO₃/AS. (Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kesalahan 5%)

Densitas *bio-foam* ini jika dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian yang telah dilaporkan menunjukkan densitasnya relatif mirip dengan *bio-foam* pati singkong yang dicampur dengan pati termodifikasi asam sitrat dan serat selulosa ampas tebu yaitu sebesar 0,17 g/cm³ – 0,30 g/cm³ (Khanookon et al. 2022). Selanjutnya, densitasnya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan *bio-foam* dari pati, kitosan dan alginat dengan menggunakan pengikatan silang antara asam sitrat-serat nanoselulosa yaitu sekitar 0,024 g/cm³ – 0,025 g/cm³ (Dinesh et al. 2022). Namun, densitasnya relatif lebih rendah dibandingkan dengan *bio-foam* dari pati terasetilasi dan penambahan *blowing agent* 12% yaitu sekitar 0,73 – 1,28 g/cm³ (Hendrawati et al. 2020). Perbedaan nilai densitas dari beberapa hasil penelitian ini dapat disebabkan oleh perbedaan bahan-bahan dan kondisi proses yang digunakan dalam pembuatan *bio-foam*.

Kuat Tarik

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi formulasi NaHCO₃/AS berpengaruh nyata terhadap kuat tarik *bio-foam* ($p < 0,05$). Nilai kuat tarik yang dihasilkan berkisar antara 0,05 ± 0,01 – 0,22 ± 0,06 MPa. Nilai SNI 7323:2008 tentang wadah makanan dan minuman dari *polystyrene foam* sebesar 0,23 – 0,34 MPa (Hendrawati et al. 2020). Mengacu pada SNI 7323:2008, *bio-foam* ini belum memenuhi standar, namun nilai kuat tarik F1 merupakan formulasi yang paling mendekati standar SNI.

Gambar 3 menunjukkan bahwa *bio-foam* dari formulasi F1 (8:4) menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 0,22 ± 0,06 MPa yang berbeda tidak nyata dengan F2 (8,5:3,5) dan F3 (9:3). *Bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) menghasilkan nilai kuat tarik terendah 0,05 ± 0,01 MPa yang berbeda tidak nyata dengan F4 (9,5:2,5). Penurunan kuat tarik secara bertaraf berbanding lurus dengan komposisi NaHCO₃ yang semakin meningkat sehingga semakin banyak pori-pori yang

dihasilkan, akibatnya porositas *bio-foam* meningkat (Fawzi et al. 2019). Pernyataan ini didukung oleh Hendrawati et al. (2020) yang menyatakan bahwa terbentuknya porositas pada dinding sel pati menyebabkan sel lebih cepat mengalami kerusakan (*deformasi*). Di sisi lain, ikatan silang yang terjadi antara pati dengan asam sitrat dapat menghubungkan molekul-molekul pati dan meningkatkan berat molekul pada pati sehingga menghasilkan kuat tarik lebih baik (Reddy and Yang 2010). Nilai kuat tarik *bio-foam* dari penelitian ini berbeda dengan kuat tarik *bio-foam* dari pati kulit singkong dan serat kulit kopi menggunakan air sebagai *blowing agent* yaitu sebesar 0,80-2,70 MPa (Sarlinda et al. 2022). Sementara itu, pembuatan *bio-foam* dengan penambahan magnesium stearat dan jenis protein kacang kedelai menggunakan metode *baking process* menghasilkan nilai kuat tarik 0,025 MPa (Hendrawati et al. 2020). *Bio-foam* komposit serbuk daun keladi dan PVA menghasilkan nilai kuat tarik yang tidak jauh berbeda yaitu sekitar 0,11 – 0,36 MPa (Ritonga et al. 2019). Perbedaan hasil pada nilai kuat tarik dapat disebabkan oleh perbedaan penggunaan *blowing agent* dan konsentrasi bahan-bahan penunjang lain yang digunakan.

Kuat Tekan

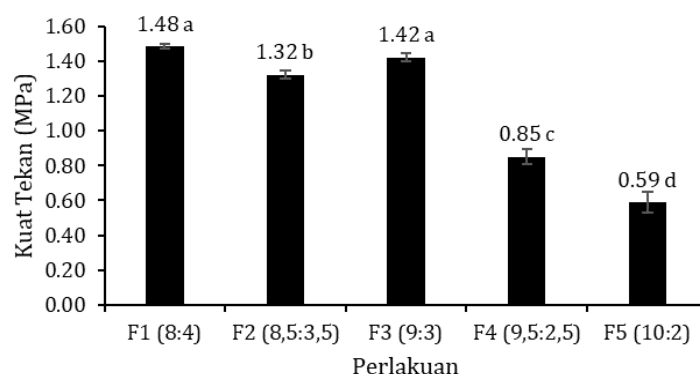
Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi formulasi NaHCO_3/AS berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tekan *bio-foam* ($p < 0,01$). Hal ini dapat dilihat dari nilai kuat tekan yang dihasilkan berkisar antara $0,59 \pm 0,01$ - $1,48 \pm 0,06$ MPa. Merujuk pada SNI 7323:2008 tentang wadah makanan dan minuman dari *polystyrene foam*, nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh *bio-foam* ini dapat memenuhi standar SNI.

Gambar 4 menunjukkan bahwa *bio-foam* dari formulasi F1 (8:4) menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar $1,48 \pm 0,01$ MPa yang berbeda tidak nyata dengan F3 (9:3) sebesar $1,42 \pm 0,03$ MPa. *Bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) menghasilkan nilai kuat tekan terendah 0,59 MPa yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. *Bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) mempunyai

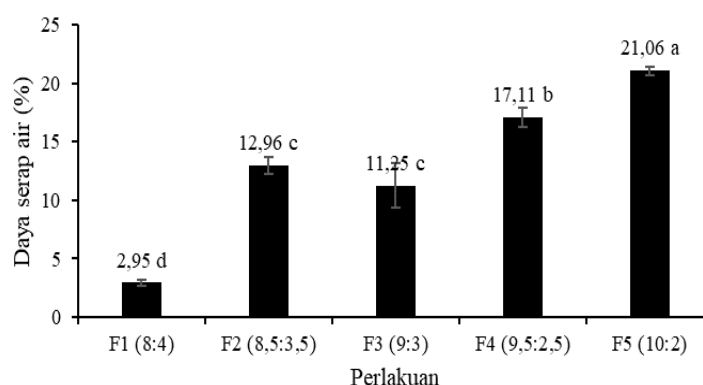
komposisi NaHCO_3 tertinggi dan AS terendah. Namun sebaliknya, *bio-foam* dari formulasi F1 (8:4) mempunyai komposisi NaHCO_3 terendah dan AS tertinggi untuk menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 1,48 MPa. Peningkatan komposisi NaHCO_3 dapat menyebabkan porositas dan renggangan pada adonan *bio-foam* bertambah sehingga struktur yang dihasilkan berongga pada saat pemanasan dan pengepresan (Sarlinda et al. 2022). Porositas yang tinggi mengakibatkan *bio-foam* memiliki dinding yang tipis sehingga bersifat rapuh ketika diberi beban atau tekanan (Sumardiono et al. 2021). Umumnya, semakin tinggi konsentrasi asam sitrat yang digunakan maka semakin meningkat kuat tekan yang dihasilkan. Namun, pada batasan tertentu penambahan asam sitrat akan menurunkan nilai kuat tekan karena sisa asam sitrat dapat mengurangi interaksi antar molekul pati dan dapat berganti peran menjadi pemlastis (Kawijia et al. 2017). Pembuatan *bio-foam* berbahan baku campuran pati dan batang sorgum menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah yaitu 0,04-0,38 MPa (Yuli et al. 2021). Sementara itu, *bio-foam* dari pati sagu dan penguat selulosa tandan kosong kelapa sawit dengan metode *thermopressing* menghasilkan nilai kuat tekan yang tidak jauh berbeda sekitar 1,00 – 2,25 MPa (Lubis et al. 2022). Hal ini dapat disebabkan oleh konsentrasi pelarut yang ditambahkan, jenis bahan, dan teknik pencampuran bahan yang digunakan dalam pembuatan *bio-foam* berbeda.

Daya Serap Air

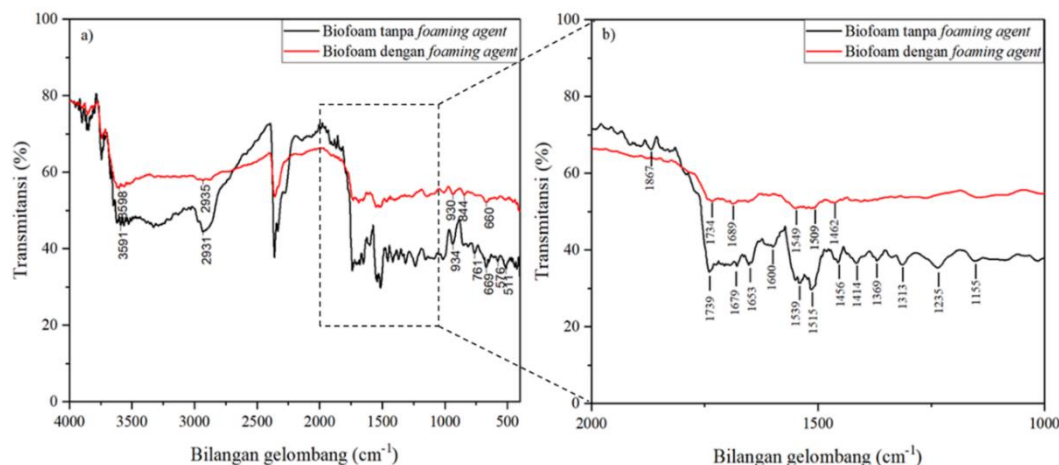
Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi formulasi NaHCO_3/AS berpengaruh sangat nyata terhadap DSA *bio-foam* ($p < 0,01$). Hal ini dapat dilihat dari nilai DSA yang dihasilkan berkisar antara 2,95 – 21,06 %. Merujuk pada SNI 7323:2008 tentang wadah makanan dan minuman dari *polystyrene foam*, nilai terendah DSA sebesar maksimal $< 2\%$, sehingga semua *bio-foam* belum memenuhi standar SNI, namun *bio-foam* dari formulasi F1 telah mendekati satandar SNI.



Gambar 4 Hasil uji kuat tekan *bio-foam* pada variasi formulasi NaHCO_3/AS . (Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kesalahan 5%)



Gambar 5 Hasil uji DSA *bio-foam* pada variasi formulasi NaHCO_3/AS . (Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNT taraf kesalahan 5%)



Gambar 6 Spektrum FTIR dari *bio-foam* tanpa dan dengan *foaming agent* (a) bilangan gelombang 4000 – 500 cm^{-1} (b) bilangan gelombang 2000 – 1000 cm^{-1}

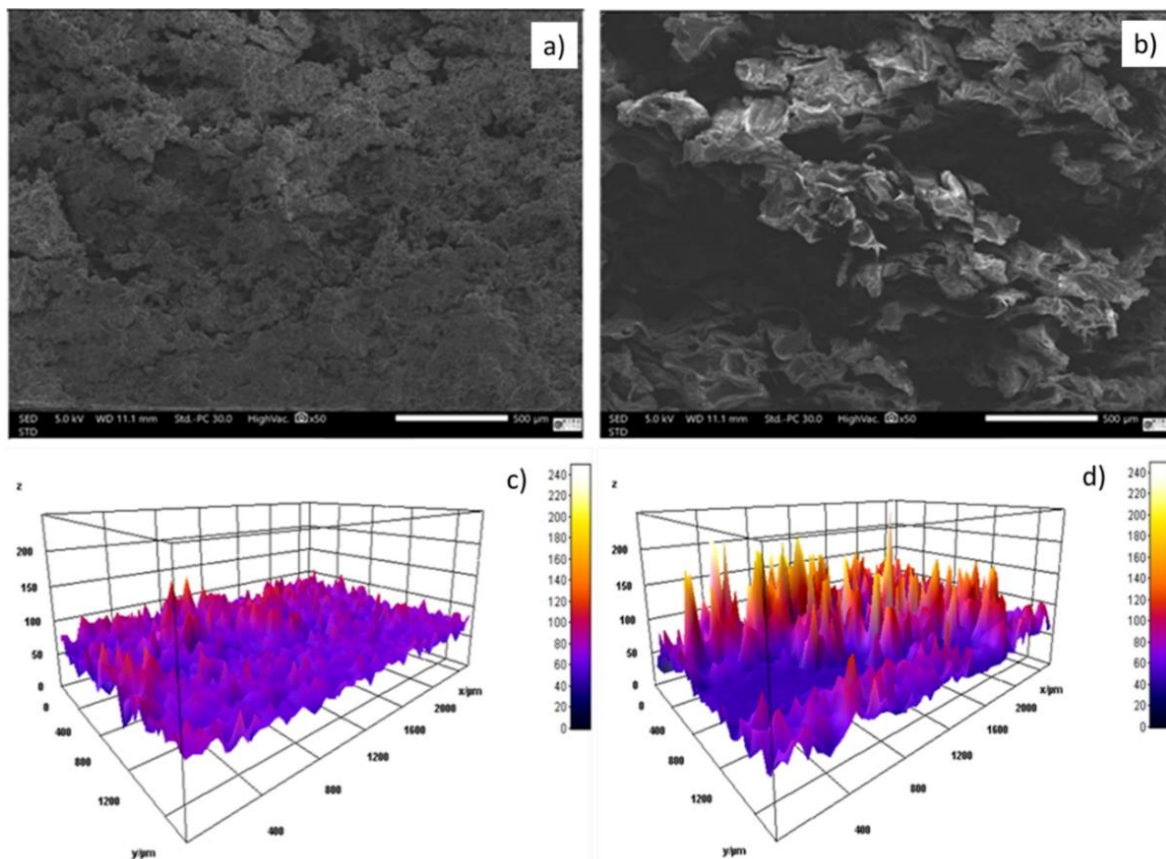
Gambar 5 menunjukkan bahwa *bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) menghasilkan DSA sebesar $21,06 \pm 0,68$ % yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sementara itu, *bio-foam* dari

formulasi F1 (8:4) menghasilkan nilai terendah sebesar $2,95 \pm 0,22$ % yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Nilai DSA *bio-foam* dari formulasi F1 mendekati nilai maksimal DSA *bio-*

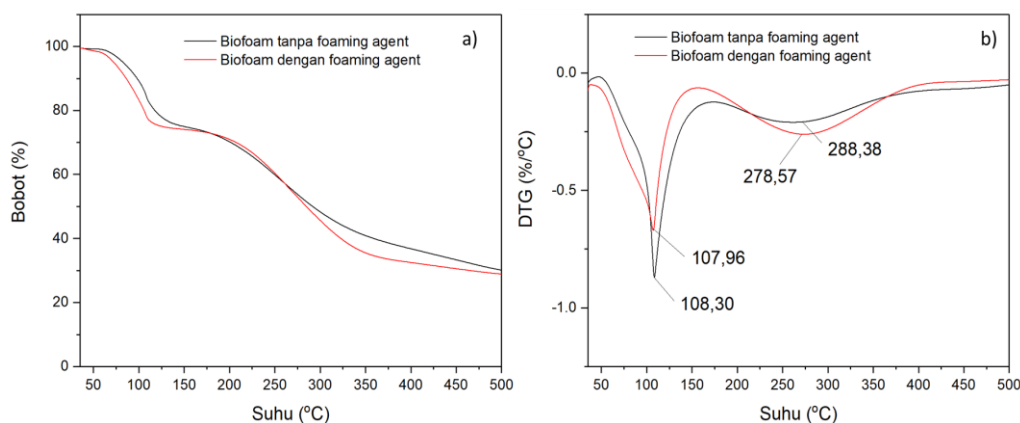
foam komersial, namun belum memenuhi SNI 7323:2008. Rendahnya daya serap pada *bio-foam* dari formulasi F1 (8:4) dipengaruhi oleh adanya penautan silang antara gugus fungsional pati dan selulosa dengan asam sitrat. Penautan silang pati dengan asam sitrat dapat menghambat gugus hidroksil selulosa dan pati untuk menyerap air, sehingga mengakibatkan DSA dari *bio-foam* menurun (Hassan *et al.* 2020). Pengikatan silang antara selulosa dan asam sitrat meningkatkan sifat hidrofobik pada *bio-foam*, sehingga kandungan asam sitrat semakin banyak maka DSA *bio-foam* semakin rendah (Dinesh *et al.* 2022). Ikatan silang antara pati, PVA, dan asam sitrat dengan kandungan NaHCO_3 yang rendah pada formulasi F1 menghasilkan struktur morfologi *bio-foam* lebih rapat dan padat, sehingga DSA *bio-foam* menurun. Kerapatan morfologi *bio-foam* F1 terkonfirmasi dengan nilai densitas dan kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Komposisi NaHCO_3 yang besar seperti *bio-foam* dari formulasi F5 (10:2) menghasilkan nilai daya serap tertinggi. Hal ini diduga disebabkan oleh keberadaan NaHCO_3

sebagai *foaming agent* mampu mendorong molekul pada pati dan glukomanan untuk membentuk struktur berpori, sehingga porositas *bio-foam* meningkat. Porositas *bio-foam* yang tinggi akan cenderung mempunyai nilai DSA lebih tinggi.

Beberapa hasil penelitian pembuatan *bio-foam* dengan nilai DSA yang berbeda-beda telah dilaporkan, diantaranya *bio-foam* dari ampas tebu dan *whey* menghasilkan nilai DSA yang lebih rendah dari pada nilai DSA *bio-foam* penelitian ini yaitu 0,045-0,110 % (Hevira *et al.* 2021) Hal ini disebabkan oleh karakteristik *whey* yang dilaporkan memiliki sifat hidrofobik sehingga mampu mengurangi nilai DSA. *Bio-foam* berbasis komposit serbuk daun keladi dan polivinil asetat mempunyai nilai DSA yang tidak jauh berbeda yaitu sebesar 1,77 – 14,29 % (Ritonga *et al.* 2019). Sementara itu, *bio-foam* dengan penambahan nanopartikel ZnO dan etilen glikol pada kemasan *biodegradable foam* dari tapioka dan ampok jagung menghasilkan nilai DSA lebih tinggi yaitu sebesar 53,20 - 59,64 % (Rahmatunisa 2015).



Gambar 7 Morfologi penampang silang dan profil kekasaran permukaan dari *bio-foam* menggunakan SEM dengan pembesaran 500x, (a,c) tanpa NaHCO_3/AS dan (b, d) dengan NaHCO_3/AS .



Gambar 8 Kurva stabilitas termal bio-foam dengan dan tanpa foaming agent a) TGA dan b) DTG

Tabel 2 Parameter stabilitas termal T_{onset} , T_{max} , kehilangan bobot, dan residu arang dari *bio-foam* tanpa dan dengan *foaming agent*

| Tahap | Parameters | <i>Bio-foam</i> tanpa foaming agent | <i>Bio-foam</i> dengan NaHCO ₃ /AS |
|-------|----------------------|-------------------------------------|---|
| I | T_{onset} (°C) | 50,78 | 107,71 |
| | T_{max} (°C) | 108,30 | 107,96 |
| | Kehilangan bobot (%) | 15,37 | 21,30 |
| II | T_{onset} (°C) | 174,96 | 168,37 |
| | T_{max} (°C) | 288,38 | 278,57 |
| | Kehilangan bobot (%) | 47,68 | 49,50 |
| III | T_{onset} (°C) | 400,17 | 392,04 |
| | Sisa Arang (%) | 31,65 | 28,88 |

Gugus Fungsional

Analisis FTIR merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui informasi gugus kimia pada sampel dengan mengindikasikan puncak-puncak yang berbeda dengan menggunakan prinsip spektroskopi. Gambar 6 menunjukkan spektrum FTIR pada *bio-foam* dengan menggunakan NaHCO₃/AS mengalami peregangan (*stretching*) ikatan O–H pada puncak serapan 3598 cm⁻¹ serta pada *bio-foam* tanpa NaHCO₃/AS pada puncak serapan 3591 cm⁻¹ pada rentang gelombang tersebut dapat diindikasikan adanya gugus fungsi dari senyawa PVA, sorbitol, selulosa, NaHCO₃, AS, dan pati. Spektra pada puncak 2935 cm⁻¹ dan 2931 cm⁻¹ menunjukkan gugus CH. *Bio-foam* tanpa foaming agent menunjukkan peregangan gugus fungsional CH dan CH₂ pada rentang gelombang tersebut. Ini mengindikasikan bahwa adanya gugus fungsi dari senyawa glukomanan, sorbitol, selulosa, pati, dan PVA. Bilangan gelombang 1734 cm⁻¹ – 1549 cm⁻¹ pada *bio-foam* dengan NaHCO₃/AS dan bilangan gelombang 1867 cm⁻¹ – 1515 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C=O dan C=N yang berasal dari

gugus fungsi senyawa diisositrat, glukomanan, NaHCO₃ dan AS. Bilangan gelombang dari *bio-foam* dengan NaHCO₃/AS mempunyai puncak pada 930 cm⁻¹ – 660 cm⁻¹ dan tanpa foaming agent di rentang 934 cm⁻¹ – 511 cm⁻¹. Ini menunjukkan gugus fungsional C–O dan C–C. Bilangan gelombang pada rentang gelombang 1500 cm⁻¹ – 500 cm⁻¹ merupakan daerah *finger print* (sebagai bentuk validasi senyawa yang ada di bilangan gelombang 3600 cm⁻¹–1500 cm⁻¹). Spektra gugus-gugus fungsional mengalami penurunan transmitansi (besarnya transmisi atau perpindahan energi yang efektif terjadi selama reaksi) dari 55% (*bio-foam* dengan NaHCO₃/AS) ke 45% (*bio-foam* tanpa foaming agent). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi interaksi antara gugus-gugus fungsional dari senyawa atom-atom bahan polimer dalam proses penyerapan berkas cahaya. Atom penyusun yang semakin padat dapat mengakibatkan tumbukan partikel cahaya, sehingga transmitansi semakin kecil (Doyan and Humaini 2017).Morfologi Permukaan.

Foaming agent NaHCO₃/AS berpengaruh nyata terhadap morfologi permukaan dari *bio-*

foam. Morfologi permukaan *bio-foam* tanpa *foaming agent* dan dengan NaHCO_3/AS disajikan pada Gambar 7a, b. *Bio-foam* tanpa penambahan *foaming agent* mempunyai permukaan penampang melintang relatif lebih halus dengan kekasaran sekitar 67,08 μm , sedangkan *bio-foam* dengan penambahan *foaming agent* mempunyai permukaan lebih kasar dengan nilai kekasaran sekitar 83,02 μm . Profil kekasaran permukaan dari masing-masing *bio-foam* disajikan pada Gambar 7c, d. Kekasaran yang lebih tinggi disebabkan oleh *bio-foam* mempunyai struktur pori-pori relatif lebih tinggi dibandingkan dengan *bio-foam* tanpa *foaming agent*. Struktur pori-pori *bio-foam* ini berimplikasi terhadap peningkatan kekasaran dan DSA, namun menurunkan nilai densitas. Kondisi ini diperkuat oleh hasil pengukuran variabel densitas dan DSA yang menunjukkan bahwa *bio-foam* dengan densitas rendah (Gambar 2), cenderung mempunyai DSA yang lebih tinggi (Gambar 5). Hal ini sejalan dengan pernyataan Zhang et al. (2020) yang menunjukkan bahwa morfologi permukaan *bio-foam* yang berpori besar dan porositas tinggi akan mempunyai densitas yang rendah. Sementara itu, *bio-foam* tanpa *foaming agent* mempunyai struktur lebih padat diduga disebabkan peningkatan viskositas dari adonan campuran pati-glukomanan, sehingga adonan tidak mudah mengembang. Selain itu, viskositas yang tinggi menyebabkan penurunan mobilitas ikatan silang matrik polimer yang mengakibatkan penurunan ekspansi adonan (Pornsuksomboon et al. 2016).

Stabilitas Termal

Analisis stabilitas termal dari *bio-foam* dilakukan untuk menentukan suhu degradasi bahan pada setiap peningkatan suhu melalui perubahan bobot sampel. Stabilitas termal *bio-foam* tanpa dan dengan NaHCO_3/AS disajikan pada Gambar 7. Kurva TGA/DTG menunjukkan bahwa proses degradasi *bio-foam* terdiri dari tiga tahapan. Tahap pertama, proses dekomposisi terjadi pada suhu berkisar antara 50-107°C dengan kehilangan bobot *bio-foam* tanpa dan dengan NaHCO_3/AS masing-masing sebesar 15,37% dan 21,30%. Tahap ini berkaitan dengan proses penguapan air pada sampel. Tahap kedua, proses degradasi mulai terjadi pada suhu antara 168-174°C (T_{onset}) dan suhu degradasi maksimum terjadi pada 278-288°C (T_{max}). Tahapan ini berkaitan dengan proses depolimerisasi komponen-komponen *bio-foam* dengan 47,68-49,50%. Tahap ketiga, degradasi polimer terjadi

pada suhu di atas 390,04°C yang ditandai dengan proses oksidasi dan penguraian residu arang dengan kisaran 28-88-31,65%. Hasil analisis stabilitas termal ini menunjukkan bahwa *bio-foam* dengan penambahan NaHCO_3/AS mempunyai stabilitas lebih rendah dibandingkan dengan *bio-foam* tanpa *foaming agent*. Hal ini diduga berkaitan dengan struktur *bio-foam* yang berpori sehingga memudahkan panas untuk melakukan penetrasi ke dalam struktur *bio-foam*. Akibatnya, kehilangan bobot *bio-foam* dengan NaHCO_3/AS pada setiap tahapan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan *bio-foam* tanpa *foaming agent*. Parameter stabilitas termal T_{onset} , T_{max} , kehilangan bobot, dan residu arang dari masing-masing bahan *bio-foam* disajikan pada Tabel 2.

Stabilitas *bio-foam* pati-glukomanan ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan *bio-foam* pati kentang dengan kitosan yaitu sebesar 292,98 - 305,31°C (Zhang et al. 2020), nanoselulosa dengan sepiolit yaitu 200 - 350°C (Sanguanwong et al. 2021), pati dengan serat jagung dan PVA sebesar 310 - 390°C (Cinelli et al. 2006). Perbedaan bahan, metode, dan kondisi proses pembuatan *bio-foam* diduga menyebabkan terjadinya perbedaan karakteristik stabilitas termal *bio-foam*.

KESIMPULAN

Formulasi NaHCO_3/AS berpengaruh sangat nyata terhadap densitas, kuat tarik, kuat tekan, DSA dari *bio-foam* pati-glukomanan. *Bio-foam* dengan perbandingan NaHCO_3/AS (8:4) memiliki sifat DSA yang rendah, kuat tarik, dan kuat tekan yang tinggi, namun memiliki kekurangan pada nilai densitas yang relatif masih tinggi. *Bio-foam* dari formulasi NaHCO_3/AS F1 (8:4) menghasilkan karakteristik terbaik dengan nilai DSA 2,95%, kuat tarik 0,22 MPa, dan kuat tekan 1,48 MPa. Analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi antara gugus-gugus fungsional polimer *bio-foam* yang ditandai oleh perubahan intensitas dan pergeseran spektra gugus fungsional. *Bio-foam* dengan penambahan NaHCO_3/AS mempunyai permukaan relatif lebih kasar dan berpori, sementara stabilitas termalnya lebih rendah yaitu 278,57°C dibandingkan dengan *bio-foam* tanpa penambahan *foaming agent* yaitu 288,38°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Udayana yang telah memberikan

pendanaan penelitian melalui skim Penelitian Unggulan Udayana tahun 2023 dengan nomor kontrak B/1.98/UN14.4.A/PT.01.03/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Alander, B., A. J. Capezza, Q. Wu, E. Johansson, R. T. Olsson, and M. S. Hedenqvist. 2018. A facile way of making inexpensive rigid and soft protein biofoams with rapid liquid absorption. *Industrial Crops and Products* 119(February):41–48.
- Alshaeer, H. A. Y., J. M. Irwan, A. F. Alsharif, E. A. Noman, M. Amran, Y. Gamil, A. Alhokabi, and A. A. Al-Gheethi. 2023. Optimisation of compressive strength of foamed concrete with a novel *Aspergillus iizukae* EAN605 fungus. *Case Studies in Construction Materials* 19(August):e02400.
- Andersen, C. T. 2011. Keefektifan Styrofoam Sebagai Material Kulit Bangunan Menginsulasi Panas. *Seminar Nasional AVoER* 3:161–168.
- Chen, T., Y. Tang, H. Zhao, K. Q. Zhang, X. Wang, and K. Meng. 2022. Sustainable wheat gluten foams used in self-expansion medical dressings. *Smart Materials in Medicine* 3(March):329–338.
- Cinelli, P., E. Chiellini, J. W. Lawton, and S. H. Imam. 2006. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability* 91(5):1147–1155.
- Čop, M., C. Lacoste, M. Conradi, M. P. Laborie, A. Pizzi, and M. Sernek. 2015. The effect of the composition of spruce and pine tannin-based foams on their physical, morphological and compression properties. *Industrial Crops and Products* 74:158–164.
- Darder, M., C. R. S. Matos, P. Aranda, R. F. Gouveia, and E. Ruiz-Hitzky. 2017. Bionanocomposite foams based on the assembly of starch and alginate with sepiolite fibrous clay. *Carbohydrate Polymers* 157:1933–1939.
- Dinesh, H. Wang, and J. Kim. 2022. Citric Acid-Crosslinked Highly Porous Cellulose Nanofiber Foam Prepared by an Environment-Friendly and Simple Process. *Global Challenges* 6(11).
- Doyan, A., and Humaini. 2017. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi* (ISSN . 2407-6902) Volume III No 1 , Juni 2017 Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi* 3(1):34–39.
- Fawzi, T., L. J. Yu, K. H. Badri, Z. Sajuri, A. A. M. Al-Talib, and S. Y. Eh Noum. 2019. Sodium hydrogen bicarbonate and water as blowing agent in palm kernel oil based polyol polyurethane foam. *Materials Today: Proceedings* 39(xxxx):993–998.
- Federico, C. E., Q. Wu, R. T. Olsson, and A. J. Capezza. 2022. Three-dimensional (3D) morphological and liquid absorption assessment of sustainable biofoams absorbents using X-ray microtomography analysis. *Polymer Testing* 116(May):107753.
- Ferdiansyah, P., B. A. Harsojuwono, and I. W. Arnata. 2022. Pengaruh konsentrasi asam stearat dan selulosa dari limbah padat pengolahan tapioka terhadap karakteristik biokomposit foam tapioka dan glukomanan. *Agrotechno* 7(2):114–122.
- Harefa, B. I., M. M. G. Permana, and A. Ilcham. 2019. Pembuatan Bahan Pengemas Alami dari Serat Nanas dan Serat Pandan dengan Pati Sagu sebagai Perekat. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*(April):1–6.
- Hassan, M. M., N. Tucker, and M. J. Le Guen. 2020. Thermal, mechanical and viscoelastic properties of citric acid-crosslinked starch/cellulose composite foams. *Carbohydrate Polymers* 230:115675.
- Hendrawati, N., A. A. Wibowo, and R. D. Chrisnandari. 2020. Biodegradable Foam dari Pati Sagu Terasitilasi dengan Penambahan Blowing Agent NaHCO₃. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan* 4(2):186–195.
- Hevira, L., D. Ariza, and A. Rahmi. 2021. Pembuatan Biofoam Berbahan Dasar Ampas Tebu Dan Whey. *Jurnal Kimia dan Kemasan* 43(2):75.
- Kaisangsri, N., O. Kerdchoechuen, and N. Laohakunjit. 2014. Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers* 110:70–77.
- Kawijia, K., W. Atmaka, and S. Lestariana. 2017. Study of Characteristics Whole Cassava Starch Based Edible Film With Citric Acid

- Cross-Linking Modification. *Jurnal Teknologi Pertanian* 18(2):143–152.
- Khanoonkon, N., P. Yenpirun, S. Chotineeranat, and P. Chatakanonda. 2022. Development of Biofoam Trays from Cassava Starch Blended with Citric Acid-modified Starch and Sugarcane Bagasse Cellulose Fiber. *Journal of Food Science and Agricultural Technology (JFAT)* 6(1):40–45.
- Kumar, A., V. R. Tumu, S. Ray Chowdhury, and R. R. Ramana. 2019. A green physical approach to compatibilize a bio-based poly (lactic acid)/lignin blend for better mechanical, thermal and degradation properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 121:588–600.
- Lubis, M., A. Suryani, I. A. Kartika, and E. Hambali. 2019. Pemanfaatan Foaming Agent Dari Minyak Sawit Pada Beton Ringan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 29(3):307–316.
- Lubis, N. rizqi F., R. Dewi, S. Sulhatun, Z. Ginting, and M. Muhammad. 2022. Biofoam Berbahan Pati Sagu Dengan Penguat Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Kemasan Makanan Dengan Metode Thermopressing. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)* 2(3):95.
- Mukminah, I. Al. 2019. Bahaya Wadah Styrofoam dan Alternatif Penggantinya. *Farmasetika.com (Online)* 4(2):32–34.
- Pornsuksomboon, K., B. B. Holló, K. M. Szécsényi, and K. Kaewtatip. 2016. Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. *Carbohydrate Polymers* 136:107–112.
- Putri, S. S., B. A. Harsojuwono, and A. A. M. D. Anggreni. 2023. Pengaruh Konsentrasi Polivinil Alkohol dan Magnesium Stearat terhadap Karakteristik Bahan Pengemas Biokomposit Foam Tapioka dan Glukomanan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian* 8(2):2–8.
- Rahmatunisa, R. 2015. Pengaruh penambahan nanopartikel zno dan etilen glikol pada sifat fungsional kemasan biodegradable foam dari tapioka dan ampok jagung. Institut Pertanian Bogor.
- Reddy, N., and Y. Yang. 2010. Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chemistry* 118(3):702–711.
- Ritonga, A. U. M., S. Humaidi, and K. Sembiring. 2019. Pembuatan dan karakterisasi biofoam berbasis komposit serbuk daun keladi yang diperkuat oleh polivinil asetat (pvac). *Tesis: Universitas Sumatra Utara*:1–2.
- Sanguanwong, A., A. E. Flood, M. Ogawa, R. Martín-Sampedro, M. Darder, B. Wicklein, P. Aranda, and E. Ruiz-Hitzky. 2021. Hydrophobic composite foams based on nanocellulose-sepiolite for oil sorption applications. *Journal of Hazardous Materials* 417:126068.
- Sarlinda, F., A. Hasan, and Z. Ulma. 2022. Pengaruh Penambahan Serat Kulit Kopi dan PVA terhadap Karakteristik Biodegradable Foam dari Pati Kulit Singkong. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)* 4(2):9–20.
- Sumardiono, S., I. Pudjihastuti, R. Amalia, and Y. A. Yudanto. 2021. Characteristics of Biodegradable Foam (Bio-foam) Made from Cassava Flour and Corn Fiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1053(1):012082.
- Utomo, P., N. M. Nizado, and E. Saepudin. 2020. Crosslink modification of tapioca starch with citric acid as a functional food. *AIP Conference Proceedings* 2242(June).
- Vercelheze, A. E. S., F. M. Fakhouri, L. H. Dall’Antônia, A. Urbano, E. Y. Youssef, F. Yamashita, and S. Mali. 2012. Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. *Carbohydrate Polymers* 87(2):1302–1310.
- Widiati, A. 2020. Peranan Kemasan (Packaging) Dalam Meningkatkan Pemasaran Produk Usaha Mikro Kecil Menengah (Umk) Di “Mas Pack” Terminal Kemasan Pontianak. *JAAKFE UNTAN (Jurnal Audit dan Akuntansi Fakultas Ekonomi Universitas Tanjungpura)* 8(2):67–76.
- Yuli, D., A. Aryanti, H. Utami, L. Lismeri, and M. Haviz. 2021. Biofoam Berbahan Baku Campuran Pati dan Batang Sorgum 02(02).
- Zhang, X., Z. Teng, and R. Huang. 2020. Polymers Biodegradable Starch / Chitosan Foam via Microwave Assisted Preparation : Morphology and Performance Properties. *Polymers* 12(2612):1–17.
- Zhang, Y., A. N. M. A. Haque, and M. Naebe. 2023. UV-functional flexible nanocomposite film with high lignin-

- cellulose nanocrystals content. *Journal of Materials Research and Technology* 26:5990–6000.
- Alander, B., Capezza, A. J., Wu, Q., Johansson, E., Olsson, R. T., Hedenqvist, M. S., 2018. A Facile Way of Making Inexpensive Rigid and Soft Protein Biofoams with Rapid Liquid Absorption. *Indust. Crop. Prod.* 119, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.069>
- Alshaeer, H. A. Y., Irwan, J. M., Alshalif, A. F., Noman, E. A., Amran, M., Gamil, Y., Alhokabi, A., Al-Gheethi, A. A., 2023. Optimisation of Compressive Strength of Foamed Concrete with a Novel *Aspergillus iizukae* EAN605 Fungus. *Case Stud. Construct. Mater.* 19, e02400. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02400>
- Andersen, C. T., 2011. Keefektifan Styrofoam Sebagai Material Kulit Bangunan Menginsulasi Panas. *Seminar Nasional AVoER* 3, 161–168. http://eprints.unsri.ac.id/124/1/Pages_from_PROSIDING_AVOER_2011-19.pdf
- Chen, T., Tang, Y., Zhao, H., Zhang, K. Q., Wang, X., Meng, K., 2022. Sustainable Wheat Gluten Foams Used in Self-Expansion Medical Dressings. *Smart Mater. Medic.* 3, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.smaim.2022.03.005>
- Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J. W., Imam, S. H., 2006. Foamed Articles Based On Potato Starch, Corn Fibers and Poly (Vinyl Alcohol). *Polym. Degradat. Stabil.* 91, 1147–1155. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.07.001>
- Čop, M., Lacoste, C., Conradi, M., Laborie, M. P., Pizzi, A., Sernek, M., 2015. The Effect of The Composition of Spruce and Pine Tannin-Based Foams on Their Physical, Morphological and Compression Properties. *Indus. Crop. Prod.* 74, 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.009>
- Darder, M., Matos, C. R. S., Aranda, P., Gouveia, R. F., Ruiz-Hitzky, E. 2017. Bionanocomposite Foams Based on The Assembly of Starch and Alginate with Sepiolite Fibrous Clay. *Carbohydr. Polym.* 157, 1933–1939. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.079>
- Dinesh, Wang, H., Kim, J., 2022. Citric Acid-Crosslinked Highly Porous Cellulose Nanofiber Foam Prepared by an Environment-Friendly and Simple Process. *Global Challenges*, 6, <https://doi.org/10.1002/gch2.202200090>
- Doyan, A., Humaini., 2017. J. Pendidikan Fisika dan Teknologi (ISSN. 2407-690) III (1) Juni 2017 Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO. *J. Pendidik. Fis. Teknol.* 3, 34–39.
- Fawzi, T., Yu, L. J., Badri, K. H., Sajuri, Z., Al-Talib, A. A. M., Eh Noum, S. Y., 2019. Sodium Hydrogen Bicarbonate and Water as Blowing Agent in Palm Kernel Oil Based Polyol Polyurethane Foam. *Mater. Today: Proceedings.* 39: 993–998. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.595>
- Federico, C. E., Wu, Q., Olsson, R. T., Capezza, A. J., 2022. Three-Dimensional (3D) Morphological and Liquid Absorption Assessment of Sustainable Biofoams Absorbents Using X-Ray Microtomography Analysis. *Polym. Test.* 116, 107753. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107753>
- Ferdiansyah, P., Harsojuwono, B. A., Arnata, I. W., 2022. Pengaruh Konsentrasi Asam Stearat dan Selulosa dari Limbah Padat Pengolahan Tapioka Terhadap Karakteristik Biokomposit Foam Tapioka dan Glukomanan. *Agrotechno*, 7, 114–122.
- Harefa, B. I., Permana, M. M. G., Ilcham, A., 2019. Pembuatan Bahan Pengemas Alami dari Serat Nanas dan Serat Pandan dengan Pati Sagu sebagai Perekat. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, April, 1–6.
- Hassan, M. M., Tucker, N., Le Guen, M. J., 2020. Thermal, Mechanical and Viscoelastic Properties of Citric Acid-Crosslinked Starch/Cellulose Composite Foams. *Carbohydr. Polym.* 230, 115675. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115675>
- Hendrawati, N., Wibowo, A. A., Chrisnandari, R. D., 2020. Biodegradable Foam dari Pati

- Sagu Terasitilasi dengan Penambahan Blowing Agent NaHCO₃. *J. Tek. Kim. Lingkungan*. 4, 186–195. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v4i2.168>
- Hevira, L., Ariza, D., Rahmi, A., 2021. Pembuatan Biofoam Berbahan Dasar Ampas Tebu dan Whey. *J. Kim. Kem.* 43, 75. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i2.6718>
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., 2014. Characterization of Cassava Starch Based Foam Blended With Plant Proteins, Kraft Fiber, and Palm Oil. *Carbohyd. Polym.* 110, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.067>
- Kawijia, K., Atmaka, W., Lestariana, S., 2017. Study of Characteristics Whole Cassava Starch Based Edible Film with Citric Acid Cross-Linking Modification. *J. Teknol. Pertan.* 18, 143–152. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2017.018.02.14>
- Khanoonkon, N., Yenpirun, P., Chotineeranat, S., Chatakanonda, P., 2022. Development of Biofoam Trays from Cassava Starch Blended with Citric Acid-modified Starch and Sugarcane Bagasse Cellulose Fiber. *J. Food Sci. Agricultur. Technol.* 6, 40–45. <http://rs.mfu.ac.th/ojs/index.php/jfat/article/view/383>
- Kumar, A., Tumu, V. R., Ray Chowdhury, S., Ramana, R. R., 2019. A Green Physical Approach to Compatibilize a Bio-Based Poly (Lactic Acid)/Lignin Blend for Better Mechanical, Thermal and Degradation Properties. *International J. Biologic. Macromol.* 121, 588–600. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.057>
- Lubis, M., Ani S., Ika A. K., and Erliza H., 2019. Pemanfaatan Foaming Agent Dari Minyak Sawit Pada Beton Ringan. *J. Teknol. Indust. Pert.* 29, 307–16. doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2019.29.3.307.
- Lubis, N. Rizqi F., Dewi, R., Sulhatun, S., Ginting, Z., Muhammad, M., 2022. Biofoam Berbahan Pati Sagu Dengan Penguat Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Kemasan Makanan dengan Metode Thermopressing. *Chem. Eng.J. Stor.* 2, 95. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i3.6419>
- Mukminah, I. Al., 2019. Bahaya Wadah Styrofoam dan Alternatif Penggantinya. *Farmasetika.Com (Online)*, 4, 32–34. <https://doi.org/10.24198/farmasetika.v4i2.22589>
- Pornsuksomboon, K., Holló, B. B., Szécsényi, K. M., Kaewtatip, K., 2016. Properties of Baked Foams from Citric Acid Modified Cassava Starch and Native Cassava Starch Blends. *Carbohyd. Polym.* 136, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.019>
- Putri, S. S., Harsojuwono, B. A., Anggreni, A. A. M. D., 2023. Pengaruh Konsentrasi Polivinil Alkohol dan Magnesium Stearat terhadap Karakteristik Bahan Pengemas Biokomposit Foam Tapioka dan Glukomanan. *J. Ilmiah Teknol. Pertan.* 8, 2–8.
- Rahmatunisa, R., 2015. Pengaruh Penambahan Nanopartikel ZnO Dan Etilen Glikol pada Sifat Fungsional Kemasan Biodegradable Foam dari Tapioka dan Ampok Jagung. In IPB. Institut Pertanian Bogor.
- Reddy, N., Yang, Y., 2010. Citric Acid Cross-Linking of Starch Films. *Food Chem.* 118, 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.050>
- Ritonga, A. U. M., Humaidi, S., Sembiring, K., 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Biofoam Berbasis Komposit Serbuk Daun Keladi Yang Diperkuat Oleh Polivinil Asetat (PVAc). Tesis: Universitas Sumatra Utara, 1–2. <https://doi.org/https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/20186>
- Sanguanwong, A., Flood, A. E., Ogawa, M., Martín-Sampedro, R., Darder, M., Wicklein, B., Aranda, P., Ruiz-Hitzky, E., 2021. Hydrophobic Composite Foams Based on Nanocellulose-Sepiolite for Oil Sorption Applications. *J. Hazard. Mater.* 417, 126068. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126068>
- Sarlinda, F., Hasan, A., Ulma, Z., 2022. Pengaruh Penambahan Serat Kulit Kopi dan PVA terhadap Karakteristik Biodegradable Foam dari Pati Kulit Singkong. *J. Pengendal. Pencemar. Ling.* 4, 9–20. <https://doi.org/10.35970/jppl.v4i2.1430>

- Sumardiono, S., Pudjihastuti, I., Amalia, R., Yudanto, Y. A., 2021. Characteristics of Biodegradable Foam (Bio-foam) Made from Cassava Flour and Corn Fiber. IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng. 1053, 012082. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012082>
- Utomo, P., Nizado, N. M., Saepudin, E., 2020. Crosslink Modification of Tapioca Starch With Citric Acid as A Functional Food. AIP Conf. Proceed. 2242. <https://doi.org/10.1063/5.0010364>
- Vercelheze, A. E. S., Fakhouri, F. M., Dall'Antônia, L. H., Urbano, A., Youssef, E. Y., Yamashita, F., Mali, S., 2012. Properties of Baked Foams Based on Cassava Starch, Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite. Carbohyd. Polym. 87, 1302–1310. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.016>
- Widiati, A. 2020. Peranan Kemasan (Packaging) dalam Meningkatkan Pemasaran Produk Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) di “Mas Pack” Terminal Kemasan Pontianak. J. Audit Dan Akuntansi Fakultas Ekonomi Universitas Tanjungpura, 8, 67–76. <https://doi.org/10.26418/jaakfe.v8i2.40670>
- Yuli, D., Aryanti, A., Utami, H., Lismeri, L., Haviz, M., 2021. Biofoam Berbahan Baku Campuran Pati dan Batang Sorgum. 02.
- Zhang, X., Teng, Z., Huang, R., 2020. Polymers Biodegradable Starch/Chitosan Foam via Microwave Assisted Preparation: Morphology and Performance Properties. Polymers. 12, 1–17.
- Zhang, Y., Haque, A. N. M. A., Naebe, M., 2023. UV-Functional Flexible Nanocomposite Film with High Lignin-Cellulose Nanocrystals Content. J. Mater. Researc. Technol. 26, 5990–6000. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.004>