

Kinetika Adsorpsi Air pada Bioplastik Berbahan Bekatul sebagai Kandidat Bahan Kemasan Pangan Edibel

Water Adsorption Kinetics of Rice Bran Derived Bioplastic as Candidate for Edible Food Packaging Material

Nur Istianah ^{1)*}, Wahyu Intan Prastiwi¹⁾, Fania Dewi Amalia¹⁾, Ratri Ike¹⁾

¹⁾ Departemen Ilmu Pangan dan Bioteknologi Universitas Brawijaya, email: n.istianah@ub.ac.id

* Penulis Korespondensi: E-mail: n.istianah@ub.ac.id

ABSTRACT

Plastic food packaging is being an environmental issue and the development of edible plastic is urgently needed. This work is aimed to perform the kinetics of water adsorption of the bio-plastic that is essential properties for the reuse application. Edible plastic was invented from the combination of rice bran and alginate (2:1 w/w) by using glycerol as plastisizer. With the thickness of 0.14mm it has tensile strength of 1.3 N and elasticity of 4% (m/m). Its water adsorption kinetic was evaluated at the immersion temperature of 10, 30, and 60°C using Langmuir equation. The result showed that the edible plastic has maximum water adsorption capacity 94.34 (g/g) at 30°C immersion temperature and 96.15% (g/g) at 10°C and 60°C. The high water adsorption capacity induce the possibility of edible plastic reuse for food material through immersion or cooking.

Keywords: edible plastic; food packaging; Langmuir model; water adsorption

ABSTRAK

Kemasan makanan plastik masih menjadi permasalahan lingkungan dan pengembangan plastik edibel sangat dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinetika adsorpsi air dari bio-plastik yang merupakan sifat penting untuk aplikasi daur ulang plastik. Plastik edibel dibuat dari kombinasi bekatul dan alginat (2:1 w/w) dengan menggunakan gliserol sebagai plastisizer dan. Plastik edibel yang dihasilkan memiliki ketebalan 0.14 mm, daya tarik 1.3 N dan elastisitas 4% (m/m). Kinetika adsorpsi air dievaluasi pada suhu perendaman 10, 30, dan 60°C menggunakan persamaan Langmuir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa plastic edibel memiliki kapasitas adsorpsi air maksimum 94,34 (g/g) pada suhu perendaman 30°C dan 96,15% (g/g) pada suhu 10°C dan 60°C. Kapasitas adsorpsi air yang tinggi mendorong kemungkinan penggunaan kembali plastik edibel untuk dikonsumsi melalui perendaman atau pemasakan.

Kata kunci: plastik edibel; kemasan makanan; model Langmuir; adsorpsi air

PENDAHULUAN

Plastik merupakan polimer hidrokarbon yang memiliki rantai panjang terdiri atas jutaan monomer yang saling berikatan serta tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Trisunaryanti, 2018). Sampah plastik memerlukan waktu 200 hingga 1.000 tahun untuk dapat terurai secara sempurna. Sampah plastik dapat menimbulkan pencemaran lingkungan baik pencemaran tanah, air, dan dapat mengganggu ekosistem (Purwaningrum, 2016). Bioplastik atau plastik *biodegradable* dapat mudah terurai oleh mikroba yang menghasilkan air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), dan metana (CH₄) (Souza dan Luisa 2016) sehingga dapat menjadi solusi dari permasalahan plastik berbasis minyak bumi. Pengembangan bioplastik dari sumber daya terbarukan menjadi sebuah upaya untuk mengurangi masalah lingkungan yang disebabkan oleh plastik sintesis dan menipisnya cadangan minyak bumi (De Santiago dkk., 2015). Beberapa penelitian pembuatan bioplastik dengan menggunakan bahan alami yang mudah terdegradasi dalam waktu yang singkat. Bioplastik terbuat dari berbagai bahan seperti polimer alami yakni, pati, lignin, lemak, kitosan, dan selulosa serta *Poly Lactic Acid (PLA)* (Coniwanti dkk., 2014; Gill dan Mukti, 2014; Yuniarti dkk., 2014; Susanti dkk., 2015).

Bioplastik pada umumnya dibuat dari pati, yang dikenal dengan *starch bioplastic* atau *thermoplastic starch (TPS)* (Lewis dan Slmon, 2016). Pemilihan bioplastik berbasis pati karena biodegradabilitas, biaya rendah, ketersediaannya berlimpah, dan terbarukan (Zhang dkk., 2014; Imre dan Pukanszky, 2015; Santana dkk., 2018). Alginat juga merupakan bahan baku bioplastik yang cukup populer karena sifatnya yang *biodegradable* serta memberikan sifat plastik yang kuat (Azeredo dkk, 2012; Mohammed dkk., 2023). Disisi lain, pembuatan bioplastik berbasis pati dan alginat memiliki kelemahan seperti kerapuhan, dan memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan plastik *high density polyethylene* (HDPE) atau *low density polyethylene* (LDPE) (Li dkk., 2015; Tian dkk., 2018).

Selulosa adalah senyawa karbohidrat dengan tingkat polimerisasi lebih tinggi dari pati (Kargarzadeh dkk, 2017; Do dkk, 2016). Penggunaan nanoteknologi pada selulosa dapat menjadikannya memiliki sifat mekanik dan termal yang sangat kuat dengan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan PLA maupun *polyethylene* (Chen dkk, 2019; Zhao dkk., 2022). Salah satu sumber bahan baku pembuatan selulosa adalah bekatul dengan kandungan karbohidrat sebanyak 63% (Faizah dkk, 2020) dan selulosa 30-35% (Arun dkk., 2020). Bekatul memiliki banyak keunggulan untuk digunakan sebagai bahan baku plastik edibel karena kandungan nutrisi dan antioksidan yang cukup tinggi yaitu serat pangan, protein dan mineral. Komposisi mineral yaitu kalsium dan kalium yang tinggi (Okolie dkk., 2022) juga membantu memberikan kekuatan mekanik pada plastik sebagai bahan pengikat atau *crosslink*. Analisis FTIR pada bekatul menunjukkan ikatan hidrogen

yang tinggi sehingga dapat memberikan ikatan yang kuat antar komponen plastik edibel (Ren dkk, 2021). Namun, analisis XRD pada bekatul menunjukkan kristalinitas yang cukup rendah yaitu 33% (Arun dkk, 2020). Hal ini dapat memberikan karakteristik plastik yang lebih lentur.

Plastik edible berbeda dengan *edible film* baik dari segi bahan baku, proses pembuatan maupun karakteristik produk. *Edible film* merupakan lapisan tipis penutup produk pangan sebagai kemasan primer sehingga biasanya dibuat menggunakan pati dan memiliki sifat mekanik yang cukup lemah (Dong dkk., 2022; Farhan dkk.,2017). Sejauh pengetahuan kami, belum ada penelitian plastik edibel yang berfungsi sebagai kemasan dengan sifat mekanik lebih kuat. Adapun *edible straw* telah dikaji dengan proses pembuatan yang menyerupai pembuatan wafer (Yavagal dkk., 2020). Uji adsorpsi kelembapan pada *edible straw* menunjukkan bahwa laju penyerapan yang signifikan dalam lima hari. Pada penelitian ini, uji adsorpsi air dilakukan pada suhu air yang berbeda untuk mengetahui tingkat penyerapan air pada saat digunakan sebagai kemasan produk dengan kadar air tinggi ataupun pada proses penggunaan ulang melalui proses pemasakan menggunakan air.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu natrium alginat (Multi Jaya Kimia, Tangerang Selatan), gliserol (SMART LAB, Semarang), bekatul organik (UB Fresh, Malang), asam asetat (SMART LAB, Semarang) dan akuades. Adapun peralatan utama yang digunakan yaitu *hot plate stirrer*, kabinet pengering serta *single-column tensile testing machine* (Multitest-i).

Pembuatan plastik edibel

Pembuatan plastik edibel dilakukan dengan dua tahapan formulasi yaitu tahap pertama menggunakan alginat (3% b/b) dan gliserol (10% b/b), dan pada tahap kedua dilakukan penambahan bekatul dengan perbandingan bekatul:alginat sebesar 2:1. Adapun proses pembuatannya diawali dengan mendispersikan alginat atau campuran bekatul/alginat ke dalam asam asetat 1% hingga memenuhi konsentrasi akhir yang ditentukan. Gliserol kemudian ditambahkan ke dalam dispersi, diaduk pada kecepatan 500rpm selama 30, 60, dan 90 menit. Sebanyak 1 g suspensi ini kemudian dituangkan di atas permukaan kaca berukuran 5 cm x 5 cm. Proses ini dilanjutkan dengan pengeringan pada suhu ruang 30°C dan

menggunakan kabinet pengering suhu 60°C selama 24 jam. Perubahan massa selama proses pengeringan setelah 24 masih tetap diamati hingga 33 jam dengan interval 1 dan 3 jam.

Prosedur analisis

Viskositas suspensi diukur menggunakan viscometer Brook field jenis rotasional pada kecepatan putar 60 rpm. Data viskositas yang muncul pada layar digital viskometer kemudian dicatat. Pengujian kuat tarik dilakukan dengan menggunakan *universal tensile strength testing machine*. Sampel berukuran 6,4 cm x 0,6 cm kedua ujung sampel dijepitkan pada mesin pengujian tensil. Tombol start ditekan hingga plastik terputus dan gaya yang diperlukan hingga plastik tepat terputus dicatat. Uji elongasi dilakukan sama seperti halnya uji kuat tarik, hanya saja dengan mencatat panjang maksimum sampel hingga tepat sebelum terputus. Ketebalan plastik yang telah kering dilakukan menggunakan *micrometer screw*. Penurunan dan penambahan mass sampel selama proses pengeringan dan adsorpsi dilakukan dengan menimbang massa sample menggunakan timbangan digital sebanyak tiga replikasi.

Model kinetika adsorpsi

Pada proses adsorpsi ini, air menjadi partikel yang diserap (*adsorbate*). Air yang berpindah (air relatif) ke dalam plastik menyebabkan perubahan konsentrasi air pada plastik bertambah menjadi q_e , sedangkan kadang air (relatif) pada fulida berkurang menjadi C_e . Persamaan Langmuir yang digunakan sebagai model dari proses adsorpsi air yaitu sebagai berikut:

$$q_e = \frac{K \cdot Q_a^0 \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \dots\dots (1)$$

Persamaan ini kemudian dilinearisasikan menjadi:

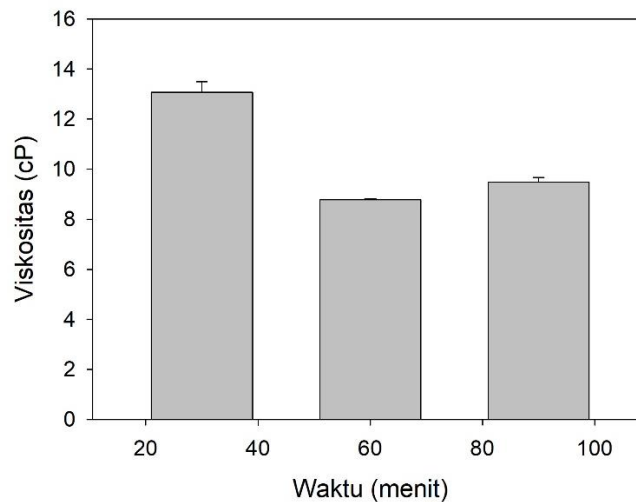
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_a^0} C_e + \frac{1}{K \cdot Q_a^0} \dots\dots (2)$$

Dengan Q_a^0 adalah kapasitas adsorpsi maksimum dan K adalah konstanta adsorpsi yang diperoleh dari plot antara C_e/q_e versus C_e .

HASIL DAN PEMBAHASAN

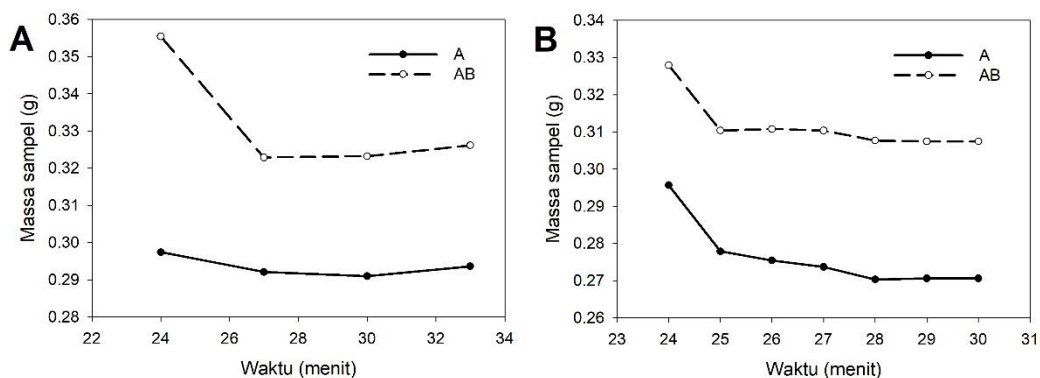
Karakteristik plastik edibel

Viskositas suspensi plastik edibel adalah faktor penting karena mempengaruhi karakteristik lembaran plastik yang dihasilkan. Adapun proses homogenisasi suspensi juga berpengaruh pada viskositas suspensi. Dengan demikian, dalam penelitian lama homogenisasi dikaji pada durasi yang berbeda yaitu 30, 60, dan 90 menit.



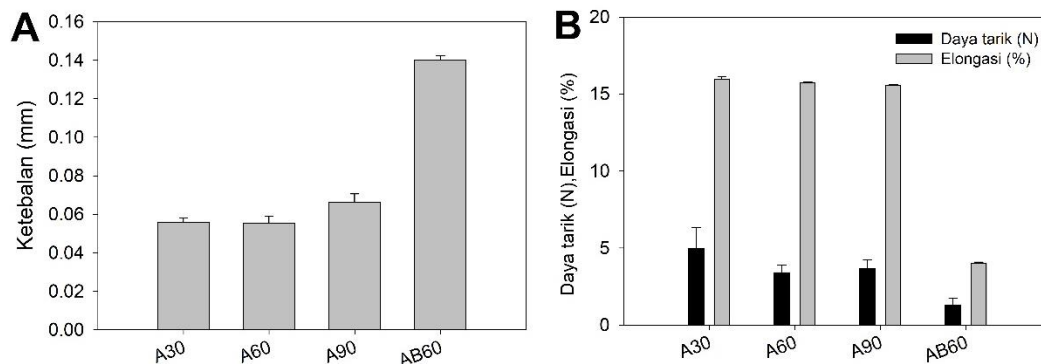
Gambar 1. Viskositas suspensi untuk pembuatan plastik edibel

Gambar 1. Menunjukkan bahwa viskositas berkurang dari durasi 30 ke durasi 60 menit, tetapi sedikit bertambah pada durasi 90 menit. Data ini sesuai dengan arah perubahan viskositas suspensi biji selasih (Martinez-Padilla, 2021). Adapun suspensi terendah didapatkan pada homogenisasi selama 60 menit. Kondisi ini dipilih untuk proses pembuatan bioplastik selanjutnya menggunakan campuran bekatul.



Gambar 2. Penurunan berat plastik edibel alginat (sampel-A) dan alginat – bekatul (sampel-AB) selama proses pengeringan pada suhu 30°C (A), dan 60°C (B).

Proses pengeringan suspensi juga berpengaruh pada karakteristik plastik yang diperoleh. Oleh karena itu, perubahan massa selama proses pengeringan telah diamati setelah durasi 24 jam untuk memastikan migrasi air mengalami kesetimbangan. Gambar 2. menunjukkan bahwa pada jam ke-27 perubahan massa mencapai titik stasioner baik pada suhu pengeringan 30°C maupun 60°C pada kedua sample plastik edibel.

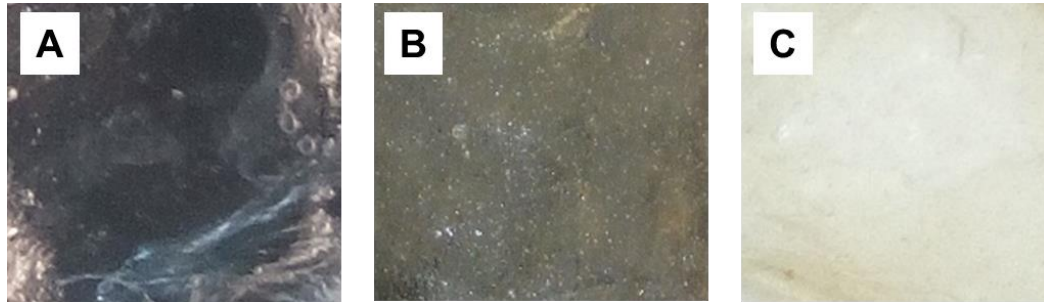


Gambar 3. Ketebalan (A) dan sifat mekanik (B) plastik edibel alginat dengan (sampel-A30, A60, A90) dan alginat – bekatul (sampel-AB60)

Gambar 3. Menunjukkan bahwa ketebalan plastik yang dibuat dari alginat memiliki ketebalan lebih tipis dibandingkan dengan plastik yang terbuat dari campuran alginat dan bekatul. Hal ini disebabkan alginat merupakan senyawa karbohidrat yang dapat larut dalam air, sedangkan bekatul tidak dapat larut, hanya dapat membentuk suspensi. Namun, interaksi keduanya dapat saling menyeimbangkan karena fraksi terlarut dapat mengikat air sedangkan fraksi tak terlarut meningkatkan stabilitas dispersi fraksi terlarut dalam air sebagaimana dijelaskan oleh (Yuan dkk., 2023).

Adapun daya tarik plastik dan elongasi alginat lebih besar dibandingkan plastik alginat-bekatul. Dengan kata lain, plastik alginat-bekatul memiliki tekstur yang lebih kaku, seperti yang telah ditemukan pada studi lain (J. Li dkk, 2022). Hal ini dipengaruhi oleh ketebalan (Guo dkk., 2022; Hu dkk, 2023) dan juga peran gliserol yang menurun dalam menggantikan ikatan hidrogen (Giz dkk., 2020). Namun, hal ini memberikan keuntungan jika plastik alginat-bekatul digunakan untuk kemasan pangan berbentuk gelas, botol ataupun kotak pembungkus

makanan dimana penggunaannya sangat meningkat dengan banyaknya layanan *food delivery* (Jang dkk, 2023; Liu dkk., 2020)



Gambar 4. Foto plastik edibel alginat dengan latar hitam (A), plastik edibel alginat/bekatul dengan latar hitam (B) dan latar putih (C).

Gambar 4. Menunjukkan bahwa plastik alginat-bekatul memiliki permukaan yang lebih rata dibandingkan dengan plastik alginat yang memiliki lebih banyak kerutan. Hal ini disebabkan oleh struktur mikro yang lebih stabil dengan adanya ikatan hydrogen dan kovalen dari selulosa dan protein dari bekatul dengan alginat. Fenomena ini juga terjadi pada biofilm yang dibuat dari sodium alginat dan protein beras (J. Li dkk., 2022), serta sinergisitas dari serat jagung dan kitosan (Wang dkk., 2022).

Laju re-adsorpsi air

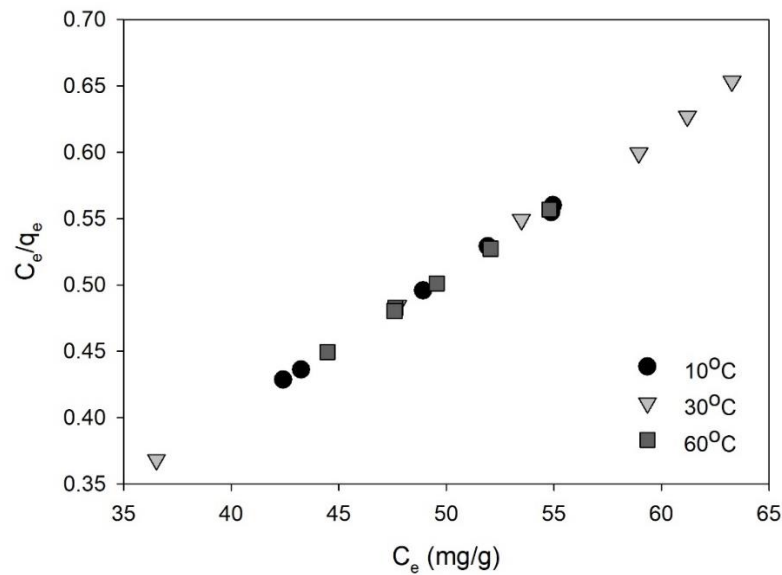
Laju re-adsorpsi air ditentukan berdasarkan proses penyerapan air yang menyebabkan perubahan konsentrasi air dalam plastik. Tabel 1. menunjukkan perubahan kadar air luas area dari sampel plastik. Pada suhu 10°C terjadi kenaikan kadar air secara bertahap disertai kenaikan pertambahan luas area. Hal ini menunjukkan adanya laju adsorpsi yang positif pada plastik. Adapun pada suhu 60°C dan 30°C perubahan kadar air masih naik turun atau reversibel meskipun pertambahan luas mengalami kenaikan. Pertambahan luas ini dikarenakan masuknya air ke dalam matriks plastik yang menyebabkan pemekaran.

Untuk mendapatkan data kinetika adsorpsi air pada plastik, maka data perubahan massa karena penyerapan air dikonversi ke dalam konsentrasi air (relatif) baik pada fluida maupun pada plastik sesuai dengan persamaan 2 sehingga didapatkan kurva pada Gambar 5.

Tabel 1. Perubahan kadar air dan dimensi plastik edibel selama adsorpsi

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Kadar air (%)	Penambahan luas area (%)
10	10	88,29 ± 0,25	0
	20	91,64 ± 0,87	0
	30	91,28 ± 0,25	4,55
	40	92,76 ± 0,42	2,38
	50	92,11 ± 0,44	13,42
	60	92,44 ± 0,52	16,88
30	10	91,33 ± 0,31	0
	20	92,88 ± 0,19	2,22
	30	94,21 ± 0,17	9,52
	40	93,63 ± 0,48	4,55
	50	94,51 ± 2,99	17
	60	93,69 ± 2,39	20,11
60	10	93,03 ± 0,46	0,25
	20	90,16 ± 0,44	0
	30	92,01 ± 0,57	2,44
	40	90,88 ± 0,16	0
	50	90,25 ± 0,39	4,76
	60	91,84 ± 0,30	4,76

Gambar 5 menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi air (relatif) dapat diterapkan dengan baik pada model Langmuir. Hal ini ditunjukkan dengan kurva yang linear serta nilai akar kuadrat (R^2) yang mendekati angka 1 (Tabel 2) baik pada perendaman suhu 10, 30, maupun 60°C. Model ini dapat digunakan untuk memprediksikan kapasitas maksimum adsorpsi air pada plastik yang terlihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Plot titik ekuilibrium adsorpsi air pada plastik edibel pada model Langmuir

Tabel 2. menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi air pada suhu 10 dan 60 °C lebih besar dibandingkan pada suhu 30°C. Proses adsorpsi air secara irreversibel pada suhu rendah yaitu 10°C menyebabkan molekul air terus terserap pada plastik sehingga mencapai kapasitas penyerapan maksimal. Adapun pada suhu 60 °C adsorpsi terjadi secara reversibel dan besarnya energi dari panas yang mendorong molekul air masuk ke dalam matriks plastik lebih tinggi daripada air yang keluar ke dalam fluida. Hal ini juga terjadi pada migrasi air ke dalam biji kedelai hitam selama proses perendaman (P. Li dkk., 2020).

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi air pada plastik edibel

T (°C)	Persamaan	Root square	Maximum adsorption, Q^0_a (%g/g)	Langmuir constant, K
10	$\frac{C_e}{q_e} = 0,0104C_e - 0,0126$	0,9990	96,15	0,83
30	$\frac{C_e}{q_e} = 0,0106C_e - 0,0183$	0,9992	94,34	0,60
60	$\frac{C_e}{q_e} = 0,0104C_e - 0,0133$	0,9996	96,15	0,78

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang ada, dapat disimpulkan bahwa kombinasi bekatul dan alginat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pembuatan plastik edibel. Kapasitas adsorpsi air pada plastik tersebut juga cukup besar tanpa perubahan ukuran yang besar selama satu jam baik pada suhu dingin, ruang maupun hangat. Hal ini menunjukkan potensi plastik tersebut untuk kembali digunakan melalui proses perendaman atau pemasakan menggunakan air. Namun, penelitian ini masih tahap dasar sehingga perlu dilanjutkan dengan optimalisasi kadar bekatul dan juga penerapan nanoteknologi untuk memperbaiki sifat mekanik dari plastik. Selain itu, studi adsorpsi air dengan kondisi yang berbeda seperti jenis larutan baik itu berupa larutan gula, larutan garam, atau bahkan produk pangan secara langsung dalam penggunaan sebagai bahan kemasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Pengolahan Pangan dan Biomassa dan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya atas fasilitas yang diberikan untuk menunjang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arun, V., Perumal, E., Prakash, K., Rajesh, M., & Tamilarasan, K. (2020). Sequential fractionation and characterization of lignin and cellulose fiber from waste rice bran. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5).
- Azeredo, H., Miranda, K., Rosa, M., Nascimento, D., & de Moura, M. (2012). Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. *Lwt-Food Science and Technology*, 46(1), 294-297.
- Chen, J., Liu, J., Su, Y., Xu, Z., Li, M., Ying, R., & Wu, J. (2019). Preparation and properties of microfibrillated cellulose with different carboxyethyl content. *Carbohydrate Polymers*, 206, 616-624.
- Coniwanti, P., L. Laila, M.R. Alfira,. 2014. Pembuatan film plastik biodegradabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan pemlastis gliserol. *Jurnal Teknik Kimia* 20(4): 22-30.
- De Santiago, G.T, de Gante, C.J, Lara, S.G., Verdolotti, L, Di Maio. E, and Iannace, S. (2015) Thermoplastic processing of blue maize and white sorghum flours to produce bioplastics. *Journal Polymer Environment*, 23,72-82.
- Do, Viet Ha, Saehun Mun, Young-Lim Kim, Shin-Joung Rho, Kwan Hwa Park, Yong-Ro Kim, Novel formulation of low-fat spread using rice starch modified by 4- α -glucanotransferase, *Food Chemistry*, Volume 208, 2016, Pages 132-141
- Faizah, Feri Kusnandar, dan Siti Nurjanah. (2020). Senyawa fenolik, oryzanol, dan aktivitas antioksidan bekatul yang difermentasi dengan *Rhizopus oryzae*, *J. Teknol. dan Industri Pangan*, 31(1), 86-94.

- Gill and Mukti. 2014. Bioplastic: A Better Alternative to Plastic. *Impact Journal*. 2(8): 115-120.
- Giz, A., Berberoglu, M., Bener, S., Aydelik-Ayazoglu, S., Bayraktar, H., Alaca, B., & Catalgil-Giz, H. (2020). A detailed investigation of the effect of calcium crosslinking and glycerol plasticizing on the physical properties of alginate films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 49-55.
- Guo, L., Liu, J., Xia, H., Li, X., Zhang, X., Yang, H., & Yang, Y. (2022). Effects of loading rate, temperature, and thickness on the tensile strength of precision adhesive joints. *Polymer Testing*, 109.
- Hu, K., Xu, X., Hu, Q., Li, Q., & Ma, J. (2023). Evident thickness effect on structure and mechanical properties of molybdenum films. *Thin Solid Films*, 768.
- Imre B, Pukánszky B (2015) Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. *Eur Polym J* 49(6):1215–1233.
- Jang, Y., Kim, K., & Woo, J. (2023). Post-consumer plastic packaging waste from online food delivery services in South Korea. *Waste Management*, 156, 177-186.
- Jose Isagani B. Janairo. (2021). Unsustainable plastic consumption associated with online food delivery services in the new normal. *Cleaner and Responsible Consumption*, 2, 100014.
- K. Lewis and E. Slmon, "Bioplastics Simplified: Attributes of Biobased and Biodegradable Plastics," *Spi - bioplastics division*, no. February. 2016.
- Kargarzadeh, Hanieh, Ishak Ahmad, Sabu Thomas, and Alain Dufresne. 2017. *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites*. Hal. 53. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Li, J., F. Ye, J. Liu and G. Zhao, 2015. Effects of octenylsuccination on physical, mechanical and moistureproof properties of stretchable sweet potato starch film. *Food Hydrocolloids*, 46: 226-232.
- Li, J., Qin, X., Liu, X., Li, J., & Zhong, J. (2022). Enhanced mechanical, barrier and antioxidant properties of rice protein/ sodium alginate-based films by incorporating cellulose nanocrystals and rosemary extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 34.
- Li, P., Li, Y., Wang, L., Zhang, H., Qi, X., & Qian, H. (2020). Study on water absorption kinetics of black beans during soaking. *Journal of Food Engineering*, 283.
- Liu, G., Agostinho, F., Duan, H., Song, G., Wang, X., Giannetti, B., . . . Lega, M. (2020). Environmental impacts characterization of packaging waste generated by urban food delivery services. A big-data analysis in Jing-Jin-Ji region (China). *Waste Management*, 117, 157-169.
- Martinez-Padilla, L. (2021). Viscosity of chia seed water suspension using two mixers and two approaches. *Biosystems Engineering*, 210, 60-68.
- Mohammed, A., Gaduan, A., Chaitram, P., Pooran, A., Lee, K., & Ward, K. (2023). Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 135.
- Pius Ifeanyi Okolie, Coker Muibat Temitope, Emilymary Chima Okolie, Emmanuel Kehinde Oke, Kudirat Aina Agboola, Solomon Olutayo Abayom. (2022). Physiochemical and quality evaluation of kokoro (A Maize-based snack) from blends of yellow maize, fermented AYB and RICE bran flours, *Applied Food Research*, 2(1), 100104.
- Prabhudev S. Yavagal, Pavan A. Kulkarni, Nikshep M. Patil, Nitilaksh S. Salimath, Arun Y. Patil, Rajashekhar S. Savadi, Basavaraj B. Kotturshettar. (2020).

- Cleaner production of edible straw as replacement for thermoset plastic. *Materials Today: Proceedings*, 32(3), 492-497.
- Purwaningrum, Pramiati. (2016). "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan". *Indonesian Journal of Urban Environmental Technology*, Vol. 8, No. 2, hal. 141-147.
- Ren, F., Feng, Y., Zhang, H., & Wang, J. (2021). Effects of modification methods on microstructural and physicochemical characteristics of defatted rice bran dietary fiber. *Lwt-Food Science and Technology*, 151.
- Santana, R.F., R.C.F. Bonomo, O.R.R. Gandolfi, L.B. Rodrigues and L.S. Santos dkk., 2018. Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *J. Food Sci. Technol.*, 55: 278-286.
- Susanti, Jasruddin, dan Subaer. 2015. Sintesis komposit bioplastic berbahan dasar tepung tapioka dengan penguat serat bambu. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(2): 179-184.
- Tian, H., G. Guo, A. Xiang and W.H. Zhong, 2018. Intermolecular interactions and microstructure of glycerol-plasticized soy protein materials at molecular and nanometer levels. *Polym. Test.*, 67: 197-204.
- V. G. L. Souza and F. A. Luisa, "Nanoparticles in food packaging: Biodegradability and potential migration to food-A review," *Food Packag. Shelf Life*, vol. 8, pp. 63–70, 2016.
- Trisunaryanti, Wega. (2018). *Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin dan Solar*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wang, Y., Wang, S., Li, R., Wang, Y., Xiang, Q., Qiu, S., . . . Bai, Y. (2022). Synergistic effect of corn fiber gum and chitosan in stabilization of oil in water emulsion. *Lwt-Food Science and Technology*, 154.
- Yuan, Z., Zhu, D., Xu, X., Xu, J., Yang, L., Song, H., . . . Liu, H. (2023). Homogenized soybean hull suspension as an emulsifier for oil/water emulsions: Synergistic effect of the insoluble fiber and soluble polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237.
- Yuniarti, L.I., G.S. Hutomo, dan A. Rahim. 2014. Sintesis dan karakteriasi bioplastik berbasis pati sagu (*Metroxylon* sp). *e-J. Agrotekbis* 2(1): 38-46.
- Zhang Y, Rempel C, Liu Q (2014) Thermoplastic starch processing and characteristics-a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 54(10):1353–70.
- Zhao, J., Ren, Y., Xie, Y., Wang, H., Wang, T., Tang, W., . . . Yong, Q. (2022). Allomorphic regulation of bamboo cellulose by mild alkaline peroxide for holocellulose nanofibrils production. *International Journal of Biological Macromolecules*, 223, 49-56.