

STUDI PEMBUATAN BIOKOMPOSIT DARI LIMBAH TEPUNG *Manihot esculenta crantz* DENGAN PENGUAT SERAT BATANG SEMU PISANG

STUDY OF BIOCOMPOSITE PREPARATION FROM *Manihot esculenta crantz* BAGASSE REINFORCED WITH BANANA PSEUDOSTEM FIBER

Noerati Kemal¹, Maria Siahaan¹, Srie Gustiani², Kurniawan¹

¹Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No 31 Bandung

²Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal A. Yani No 390, Bandung

E-mail: mariasiahaan0206@gmail.com

Tanggal diterima: 20 Agustus 2021, direvisi: 20 November 2021, disetujui terbit: 20 Desember 2021

ABSTRAK

Biokomposit merupakan material komposit yang berasal dari polimer alami yang dapat terbiodegradasi, baik yang berfungsi sebagai matriks atau pengisi. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah pati dan serat batang semu pisang sebagai bahan baku biokomposit. Pada penelitian ini matriks dibuat dari material biopolimer pati dari ampas singkong, yaitu limbah hasil pengolahan akar tanaman *Manihot esculenta crantz* dan penguat dari serat batang semu tanaman pisang. Pati dapat diolah menjadi material termoplastik untuk digunakan sebagai bahan bioplastik. Sebagai penguat, digunakan selulosa alami yang diisolasi dari limbah batang semu pisang menggunakan metode *solution casting* dengan menggunakan variasi gliserol sebagai *plasticizer* sebesar (10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%). Biokomposit dibuat dengan menggunakan metode *solution casting polymer* menggunakan variasi komposisi serat dan film dengan perbandingan (30:70, 40:60, dan 50:50). Karakterisasi dilakukan terhadap sifat mekanikal dan hidrofilitasnya. Hasil pengujian menunjukkan pati dapat dijadikan film dengan konsentrasi optimum gliserol sebesar 40% dengan nilai kekuatan tarik sebesar 0,71 MPa dan mulur sebesar 101,04%, dan kemampuan menyerap air sebesar 144,68%. Hasil pengujian terhadap biokomposit menunjukkan bahwa penambahan serat batang semu pisang pada pati dengan perbandingan serat dan film optimum sebesar 50:50 dapat meningkatkan kekuatan tarik dan daya serap dari nilai kekuatan tarik 0,71 MPa menjadi 4,62 MPa dan daya serap dari 144,68 menjadi 243,21%.

Kata kunci: Pati, Serat Batang Semu Pisang, Biokomposit.

ABSTRACT

Biocomposites are composite materials derived from biodegradable polymers that can be found in the nature which can be used as a matrix or filler. The purpose of this study was to utilize cassava's waste and banana stem fiber for the manufacture of biocomposites. In this study, the matrix was made using cassava pulp biopolymer-based material from the processing of the roots of the Manihot esculenta crantz plant. Cassava pulp can be processed into thermoplastic material that can be used as a bioplastic material. As a reinforcement, cellulose natural fiber material is used from the pseudostem of the banana plant using the solution casting method using variations of glycerol as a plasticizer (10%, 20%, 30%, 40%, and 50%) and using various compositions of fiber and film in a ratio (30:70, 40:60, and 50:50). The characterizations carried out on its mechanical properties and hydrophilicity. The test results showed that cassava bagasse can be used as a film with an optimum concentration of glycerol of 40% with a tensile strength value of 0.71 MPa and elongation of 101.04%, and the ability to absorb water of 144.68%. The test results on the biocomposite showed that the addition of banana pseudo-stem fiber to starch with an optimum ratio of fiber and film of 50:50 could increase the tensile strength and absorption with a tensile strength value of 0.71 MPa to 4.62 MPa and absorption from 144.68 to 243.21%.

Keywords: Cassava bagasse, Banana pseudostem fiber, Biocomposite.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir penelitian tentang pembuatan biokomposit menunjukkan peningkatan, hal ini untuk menggantikan komposit dengan bahan baku yang berasal dari fosil.¹ Salah satu material yang dapat dijadikan sebagai biokomposit adalah pati yaitu limbah yang berasal

dari hasil pengolahan akar tanaman singkong. Setiap satu ton akar singkong yang diproses akan menghasilkan satu ton residu pati.² Limbah pati memiliki nilai tambah yang dapat diolah menjadi material termoplastik sebagai bahan komposit biofilm karena harganya relatif terjangkau, bersifat terbarukan, dan sumbernya melimpah dengan rata-

rata produksi 2,2 juta ton selama tahun 2018 di Indonesia sehingga dapat dimanfaatkan pada skala industri.^{3,4} Namun, material pati termoplastik atau TPS (*thermoplastic starch*) memiliki sifat mekanik, stabilitas termal, dan ketahanan air yang rendah karena sifat hidrofiliknya.⁵ Untuk memperbaiki sifat tersebut, terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu dengan mencampur TPS dengan polimer terbiodegradasi dan agen pengikat silang untuk meningkatkan ketahanan air,⁶ menggunakan teknik multilapis⁷ atau dengan menggunakan serat alam selulosa sebagai penguat matriks TPS.⁸

Penggunaan serat alam dalam pembuatan biokomposit telah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya. Salah satu serat alam selulosa yang dapat digunakan sebagai penguat matriks TPS adalah serat batang semu pisang. Tanaman ini tersebar di Indonesia dengan sentra produksi di Jawa timur, Jawa barat, dan Lampung. Pada setiap ton buah pisang yang dipanen, turut dihasilkan pula rata-rata 4 ton limbah batang semu pisang.⁹ Limbah batang semu pisang yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk bioserat yang ramah lingkungan. Bagian batang yang dibuang pada proses pemanenan memiliki kandungan selulosa yang tinggi serta memiliki kelebihan seperti kekuatan tarik tinggi, stabilitas termal dan sifat antibakteri yang cukup baik karena adanya kandungan fenolik, protein, dan karbohidrat.¹⁰

Pembuatan komposit dapat dilakukan dengan menggabungkan polimer alam dengan serat penguat. Beberapa penelitian yang telah dilakukan, diantaranya pemanfaatan pati yang diperkuat dengan serat selulosa bambu, serat nanoselulosa, serat *polylactic acid*, serat kapas, jute dan kenaf.^{11,12,13,14,15,16} Penggabungan kedua material tersebut dapat dilakukan menggunakan metode metode *injection molding*, *compression molding*, dan *casting*. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan metode *injection molding* dan *compression molding* untuk menggabungkan kedua material tersebut seperti penggabungan protein soya dan serat hemp, pati singkong dan alginat, dan polimer PLA dan serat sisal.^{17,18,19} Namun, metode ini memiliki biaya operasional mesin yang cukup mahal dan proses yang panjang. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode *solution casting* untuk membuat komposit karena biaya operasional mesin yang cukup murah, proses cepat dan lebih singkat.²⁰

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit yang berasal dari pati dengan *plasticizer* gliserol dan diperkuat dengan serat batang semu pisang hasil isolasi yang dilakukan secara kimia dan biologi untuk memperbaiki sifat mekanikal TPS pati singkong. Polimer yang digunakan sebagai matriks berupa polimer kanji yang berasal dari limbah tanaman

singkong, pengisi yang digunakan sebagai penguat adalah bioserat dari batang semu pisang. Selain meningkatkan pemanfaatan bahan alami, kedua limbah ini pun mudah untuk biodegradasi dan diharapkan dapat dijadikan substitusi untuk plastik yang sulit untuk terdegradasi.

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah limbah ampas singkong dan batang semu pisang, serta menemukan bahan alternatif biokomposit dalam upaya mengurangi penggunaan komposit dengan bahan baku yang berasal dari fosil. *State of the art* penelitian ini adalah pembuatan biokomposit dengan penguat serat dari batang semu pisang dengan metode *solution casting* yang belum dilakukan peneliti sebelumnya.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat batang semu pisang jenis *Musa balbisiana* yang telah melalui proses pemasakan dan pengelantangan secara simultan, kemudian limbah ampas singkong, gliserol, dan akuades.

Metode

Tahap pertama pada penelitian ini adalah pembuatan film dari limbah pati menggunakan *plasticizer* gliserol dengan variasi konsentrasi (10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%). Setelah itu dilakukan pembuatan biokomposit menggunakan metode *solution casting* dengan variasi perbandingan komposisi berat serat batang semu pisang dan pati 30:70, 40:60, dan 50:50. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi daya serap film, kekuatan tarik dan mulur, dan stabilitas dimensi biokomposit. Eksperimen dilakukan sebanyak 4 kali pengulangan.

Pengujian daya serap film dilakukan dengan memotong film dengan ukuran 1x1 cm², kemudian sampel dimasukan ke dalam air selama 1 menit. Sampel dikeringkan pada bagian permukaannya dan ditimbang kembali hingga mencapai berat konstan menggunakan persamaan (1):

$$\text{Air (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W = Berat akhir (g)

w₀ = Berat awal (g)

Pengujian kekuatan tarik dan mulur film dilakukan sesuai dengan standar uji pada ASTM D882. Sampel film plastik diukur sebesar 20 × 30 cm, kemudian dibuat gambar garis potong, jarak ukur (*gauge length*) dan panjang sampel sesuai dengan ASTM D882. Ketebalan film diukur pada 5 titik menggunakan mikrometer. *Cloth tape* dipotong ukuran 0,5 cm dengan panjang sesuai ukuran

sampel kemudian ditempelkan pada setiap ujung panjang sampel. Sampel diuji kekuatan tarik menggunakan alat Tensolab 500 sebanyak 5 kali, dan dihitung hasilnya menggunakan persamaan:

$$\text{Kekuatan tarik (MPa)} = \frac{F (N)}{A (cm^2)} \quad (2)$$

Keterangan:

F = Gaya tarikan (N)

A = Luas penampang (cm²)

Pertambahan panjang atau mulur setelah proses penarikan dapat diukur dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Mulur (\%)} = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (3)$$

Keterangan:

l = Panjang setelah penarikan (cm)

l₀ = Panjang sebelum penarikan (cm)

Pengujian daya serap biokomposit dilakukan dengan memotong biokomposit dengan ukuran 1x1 cm², kemudian sampel dimasukkan ke dalam air selama 1 menit. Sampel dikeringkan pada bagian permukaannya dan ditimbang kembali hingga mencapai berat konstan menggunakan persamaan:

$$\text{Air (\%)} = \frac{W-W_0}{W_0} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

w = Berat akhir (g)

w₀ = Berat awal (g)

Metode pengujian yang digunakan untuk mengukur stabilitas dimensi biokomposit yang dihasilkan adalah hasil modifikasi dari penelitian Ban W dkk (2006). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sampel untuk menahan perubahan dimensi karena perubahan kondisi dalam keadaan basah. Sampel biokomposit dipotong dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm ke dalam gelas piala dengan akuades. Setelah 1 menit sampel diangkat dari dalam wadah berisi aquades dan dikeringkan permukaannya. Kemudian panjang dan lebar sampel yang telah direndam dalam gelas piala diukur kembali. Sampel direndam kembali ke dalam wadah tersebut dan diangkat tiap satu menit, kemudian ditimbang panjang dan lebar sampel hingga diperoleh panjang dan lebar akhir sampel yang konstan.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven merk Memert, *magnetic stirrer* merk Joan Lab, cetakan Teflon 20 cm x 20 cm merk Clair.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kenampakan Visual Film pati

Kenampakan visual yang dihasilkan dari pembuatan film pati variasi konsentrasi gliserol yang menunjukkan perbedaan signifikan terhadap kenampakan film dapat dilihat pada Tabel 1.

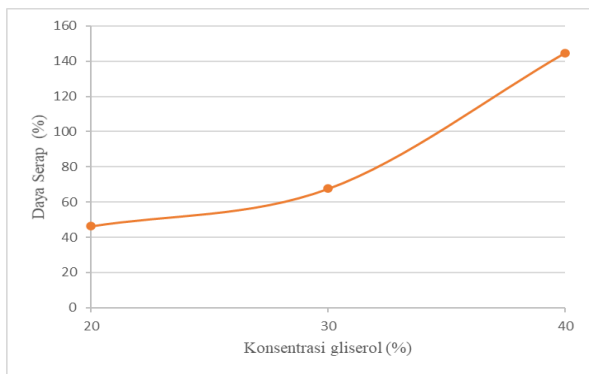
Tabel 1. Bentuk film pati variasi konsentrasi gliserol

Konsentrasi gliserol	Kenampakan visual
Gliserol 0 %	Warna coklat gelap, dan terdapat retakan yang cukup banyak.
Gliserol 10 %	Warna coklat gelap, dan terdapat retakan yang cukup banyak
Gliserol 20 %	Warna coklat gelap, tidak terdapat retakan.
Gliserol 30 %	Warna coklat gelap, tidak terdapat retakan
Gliserol 40 %	Warna coklat gelap, tidak terdapat retakan
Gliserol 50 %	Warna coklat gelap, terdapat retakan yang cukup banyak.

Pada film pati yang tidak menggunakan gliserol dapat dilihat terdapat retakan dan pegangan sangat kaku, kemudian pada film dengan konsentrasi gliserol 10% dapat dilihat bahwa terdapat retakan. Hal ini disebabkan karena konsentrasi gliserol yang terlalu sedikit sehingga pembentukan ikatan hidrogen yang baru menjadi lebih sedikit dan tidak sempurna. Pada konsentrasi gliserol 20%, 30%, dan 40% retakan sudah tidak ada, namun pada konsentrasi gliserol 50% terjadi retakan pada film, hal ini disebabkan karena konsentrasi gliserol yang berlebihan sehingga menyebabkan terjadinya aglomerasi.²¹

Daya serap film pati

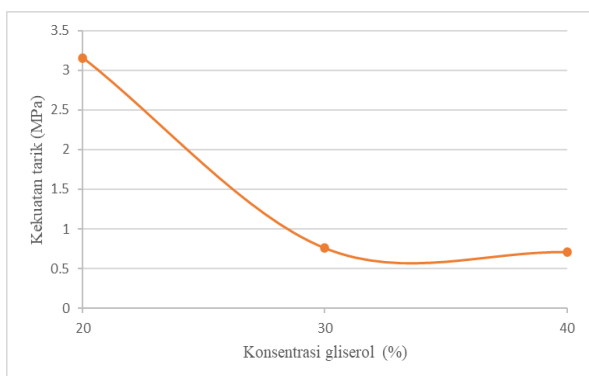
Pengujian ini tidak menguji konsentrasi gliserol 0%, 10%, dan 50% karena sampel tidak dapat diuji karena adanya retakan. Hasil pengujian daya serap film pati pada Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi gliserol maka daya serap film semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya molekul polar gliserol yang dapat meningkatkan interaksi gliserol dengan air sehingga semakin banyak konsentrasi gliserol maka semakin banyak pula gugus hidroksil yang berikatan dengan air sehingga daya serap film semakin besar.²²



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap daya serap film pati

Kekuatan tarik dan mulur film Pati

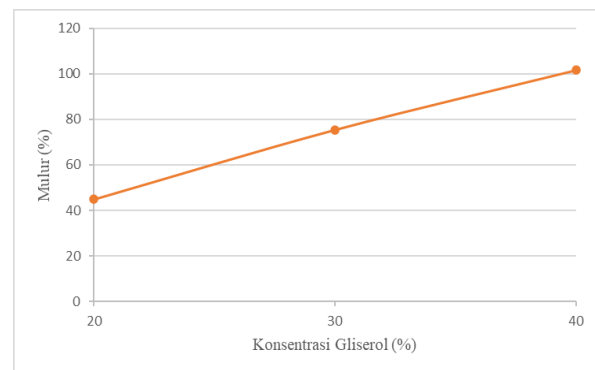
Hasil pengujian kekuatan tarik film pati menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi gliserol maka kekuatan tarik film semakin rendah. Ketika konsentrasi gliserol pada bioplastik lebih tinggi dibandingkan dengan pati, fungsi gliserol menjadi lebih dominan dibandingkan dengan interaksi intermolekuler antara pati dengan pati, sehingga bioplastik dengan konsentrasi gliserol yang lebih besar dapat menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah namun mulur dan fleksibilitasnya semakin tinggi. Gliserol dapat memodifikasi sifat bioplastik dengan mengurangi interaksi intermolekuler dengan meningkatkan mobilitas rantai polimer, sehingga bioplastik dengan konsentrasi gliserol yang lebih besar dapat menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah namun mulur dan fleksibilitasnya semakin tinggi.²³



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap kekuatan tarik film pati

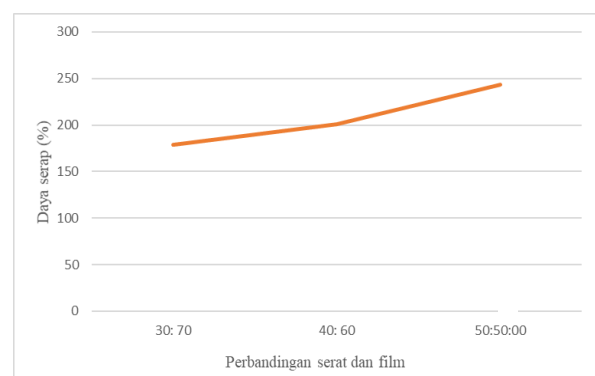
Ketika konsentrasi gliserol semakin tinggi, maka kekuatan tarik film menjadi lebih rendah. Hal ini disebabkan karena nilai kekuatan tarik berbanding terbalik dengan mulur. Gliserol akan memutuskan ikatan antar molekul pati sehingga menyebabkan berkurangnya pergerakan molekul-molekul polimer sehingga menghasilkan bentuk polimer yang lebih lunak.²³ Nilai mulur film pati semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi gliserol. Hal ini disebabkan karena

berkurangnya interaksi antar molekul yang mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler sehingga menyebabkan berkurangnya kekakuan dan menambah fleksibilitas film karena bertambahnya mobilitas rantai pati.²⁴



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap mulur film

Pengaruh perbandingan serat dan film terhadap daya serap air



Gambar 4. Pengaruh komposisi serat dan film terhadap daya serap biokomposit

Gambar 4 menunjukkan daya serap biokomposit pada perbandingan komposisi serat dan film. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya serap air komposit meningkat seiring bertambahnya jumlah selulosa pada komposisi serat dan film 30:70, 40:60, 50:50. Nilai optimum daya serap terbesar terdapat pada perbandingan serat dan film 50:50. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan jumlah selulosa, gugus hidroksil (OH) di dalam komposit semakin meningkat sehingga daya serap air semakin meningkat karena gugus hidroksil mengikat air dan membentuk ikatan hidrogen.

Kekuatan tarik dan mulur komposit

Pada pengujian ini digunakan sampel dengan konsentrasi optimum gliserol 40% karena menghasilkan komposit dengan sifat hidrofilisitas paling tinggi, penampakan visual yang merata dan elastisitas yang besar. Pengujian kekuatan tarik

hanya dilakukan pada komposisi optimum biokomposit 50:50 karena nilai hidrofilisitas yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi 30:70 dan 40:60. Nilai kekuatan tarik biokomposit yang didapatkan dari hasil pencampuran serat selulosa batang semu pisang dan film pati singkong adalah sebesar 4,62 MPa dengan mulur 7,13% pada perbandingan serat batang semu pisang dan film 50:50. Serat selulosa batang semu pisang terbukti dapat digunakan sebagai matriks biopolimer pati untuk meningkatkan sifat mekanik karena dapat membentuk ikatan hidrogen antar rantai dengan amilosa dan amilopektin dalam pati. Serat selulosa batang semu pisang lebih bersifat kristalin dan memiliki nilai kekuatan tarik dan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan film pati sehingga terjadi penurunan persentase mulur.

Stabilitas dimensi

Tabel 2 menunjukkan stabilitas dimensi biokomposit dengan nilai persen pertambahan panjang 0,020% dan 0,028%. Nilai ini menunjukkan bahwa dimensi biokomposit cukup stabil dengan persentase yang cukup kecil.²⁵ Pertambahan panjang pada biokomposit disebabkan karena ketika serat selulosa berada pada kondisi basah, molekul air akan berpenetrasi ke dalam komposit melalui celah retakan yang terdapat pada biokomposit sehingga menyebabkan terjadinya pengembangan.

Tabel 2. Stabilitas dimensi biokomposit

Percobaan ke-	Arah	Panjang awal (cm)	Panjang akhir (cm)	Pertambahan panjang
1	x	2,50	2,55	0,020%
	y	2,50	2,55	0,020%
2	x	2,50	2,57	0,028%
	y	2,50	2,57	0,028%

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pati dapat dijadikan film dengan gliserol sebagai *plasticizer* pada konsentrasi optimum sebesar 40% dengan nilai kekuatan tarik dan mulur sebesar 0,71 MPa dan 101,04%, dan daya serap air sebesar 144,68%. Hasil pengujian pada biokomposit menunjukkan bahwa penambahan serat batang semu pisang pada pati dengan perbandingan serat dan film optimum sebesar 50:50 dapat meningkatkan kekuatan tarik dan daya serap dengan nilai kekuatan tarik 0,71 MPa menjadi 4,62 MPa dan daya serap dari 144,68 menjadi 243,21%. Stabilitas dimensi biokomposit juga baik dengan nilai 0,020% dan 0,028%.

PUSTAKA

1. Mohanty, A.K., Misra, M. and Drzal, L.T. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, **10(1)**, 19-26 (2002).
2. Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Soccol, V.T., Vandenberghe, L.P. and Mohan, R. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: Pati. *Bioresource technology*, **74(1)**, 81-87 (2000).
3. Pulungan, M.H., Hidayat, N., Wafa, A. and Wardina, K. Pendayagunaan Pati Singkong dan Tepung Kulit Singkong sebagai Bahan Pembuatan Plastik Biodegradable (Kajian Rasio Pati Singkong dan Tepung Kulit Singkong). *In Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik*, **7(1)**, (2018).
4. Farias, F.O., Jasko, A.C., Colman, T.A.D., Pinheiro, L.A., Schnitzler, E., Barana, A.C. and Demiate, I.M. Characterisation of Pati and composites prepared by blending with low-density polyethylene. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **57(6)**, 821-830 (2014).
5. Kampeerapappun, P., Aht-ong, D., Pentrakoon, D. and Srikulkit, K. Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers*, **67(2)**, 155-163 (2007).
6. Detduangchan, N., Sridach, W. and Wittaya, T. Enhancement of the properties of biodegradable rice starch films by using chemical crosslinking agents. *International Food Research Journal*, **21(3)** (2014).
7. Martin, O. and Avérous, L. Poly (lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. *Polymer*, **42(14)**, 6209-6219 (2001).
8. Bénézet, J.C., Stanojlovic-Davidovic, A., Bergeret, A., Ferry, L. and Crespy, A. Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres. *Industrial Crops and Products*, **37(1)**, 435-440 (2012).
9. Subagyo, A. and Chafidz, A. Banana pseudo-stem fiber: Preparation, characteristics, and applications. *Banana nutrition-function and processing kinetics*, 1-19 (2018).
10. Kumar, P.R., Srivastava, S., Singh, K.K., Mathad, C. and Thin, P.S. Study of Antioxidant and Antimicrobial Properties, Phytochemical screening and analysis of Sap Extracted from Banana (*Musa acuminata*) batang semu.

International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 5(4), 649-658 (2014).

11. Subagio, A. Biocomposite characterization of bagasse starch derived from cassava reinforced by acetylated bamboo cellulose and plasticized by epoxidized waste cooking oil. *Rasayan journal of chemistry*, **12(3)**, 1470-1477 (2019).
12. Fahma, F., Sunarti, T.C., Indriyani, S.M. and Lisdayana, N. Thermoplastic cassava starch-PVA composite *films* with cellulose nanofibers from oil palm empty fruit bunches as reinforcement agent. *International Journal of Polymer Science*. (2017).
13. Teixeira, E.D.M., Curvelo, A.A., Corrêa, A.C., Marconcini, J.M., Glenn, G.M. and Mattoso, L.H. Properties of thermoplastic starch from cassava bagasse and cassava starch and their blends with poly (lactic acid). *Industrial Crops and Products*, **37(1)**, 61-68 (2012).
14. Prachayawarakorn, J. and Pomdage, W. Effect of carrageenan on properties of biodegradable thermoplastic cassava starch/low-density polyethylene composites reinforced by cotton fibers. *Materials & Design*, **61**, 264-269 (2014).
15. Prachayawarakorn, J., Chaiwatyothin, S., Mueangta, S. and Hanchana, A. Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites. *Materials & Design*, **47**, 309-315 (2013).
16. Zainuddin, S.Y.Z., Ahmad, I. and Kargarzadeh, H. Cassava starch biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals from kenaf fibers. *Composite Interfaces*, **20(3)**, 189-199 (2013).
17. Mohanty, A.K., Tummala, P., Liu, W., Misra, M., Mulukutla, P.V. and Drzal, L.T. Injection molded biocomposites from soy protein based bioplastic and short industrial hemp fiber. *Journal of Polymers and the Environment*, **13(3)**, 279-285 (2005).
18. Weerapoprasit, C. and Prachayawarakorn, J. Properties of biodegradable thermoplastic cassava starch/sodium alginate composites prepared from injection molding. *Polymer Composites*, **37(12)**, 3365-3372 (2016).
19. Chaitanya, S. and Singh, I. Processing of PLA/sisal fiber biocomposites using direct-and extrusion-injection molding. *Materials and Manufacturing Processes*, **32(5)**, 468-474 (2017).
20. Edhirej, A., Sapuan, S.M., Jawaid, M. and Zahari, N.I. Cassava/sugar palm fiber reinforced cassava starch hybrid composites: Physical, thermal and structural properties. *International journal of biological macromolecules*, **101**, 75-83 (2017).
21. Travalini, A.P., Lamsal, B., Magalhães, W.L.E. and Demiate, I.M. Cassava starch *films* reinforced with lignocellulose nanofibers from pati. *International journal of biological macromolecules*, **139**, 1151-1161 (2019).
22. Amin, A.M.M., Sauid, S.M., Musa, M. and Hamid, K.H.K. The effect of glycerol content on mechanical properties, surface morphology and water absorption of thermoplastic *films* from *tacca leontopetaloides* starch. *Jurnal Teknologi*, 79(5-3) (2017).
23. Jacob, M., Thomas, S. and Varughese, K.T. Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. *Composites science and Technology*, **64(7-8)**, 955-965 (2004).
24. Ariska, R.E. *Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap sifat fisik dan mekanik edible film dari pati bonggol pisang dan karagenan dengan plasticizer gliserol*. Seminar Nasional Kimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Surabaya. Surabaya , 3-4 (2015).
25. Khan, M.D., Rahman, M., Ahmed, M., Shuvo, K., Ahmed, R. Optimization of Residual Shrinkage Control of 100% Cotton Woven Fabric Through Sanforization. *Journal Of Textile Science & Fashion Technology*. (2020).