



dapat diakses melalui <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/imuo>



## Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan *Plasticizer* Gliserol

Engellita Maneking<sup>a\*</sup>, Hanny Frans Sangian<sup>a</sup>, Seni Herlina Juita Tongkukut<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi

### KATA KUNCI

Bioplastik, Pati Singkong, Gliserol, Alkohol

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengkarakterisasi bioplastik yang memanfaatkan biomassa singkong. Pembuatan bioplastik dilakukan dengan dua variasi campuran yaitu pati singkong sebagai bahan dasar, gliserol + air sebagai *plasticizer*, asam asetat (cuka) sebagai katalis dan variasi kedua dengan kombinasi yang sama dengan penambahan alkohol sebagai pembanding. Karakterisasi bioplastik meliputi pengamatan permukaan menggunakan SEM; kristalinitas menggunakan XRD; penentuan gugus fungsi menggunakan FTIR; serta menganalisis sifat termal menggunakan TGA dan DSC. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa bioplastik dengan kombinasi pati singkong+ gliserol + air + asam asetat (cuka) + alkohol mempunyai tingkat degradasi yang tinggi. Hal ini sesuai dengan analisis XRD dimana kombinasi ini memiliki nilai kristalinitas rendah. Hasil spektra IR menunjukkan adanya gugus C-H Alkana, C=O ester, dan C-H Alkena. Sementara hasil SEM memperlihatkan permukaan yang rata dan hasil analisis TGA/DSC yang memperlihatkan pengurangan massa sebesar 2,3234 mg.

### KEYWORDS

Bioplastics, Cassava Starch, Glycerol, Alcohol

### ABSTRACT

This study aims to create and characterize bioplastics that utilize cassava biomass. The making of bioplastics is carried out for two variations of mixture, namely cassava starch as the material-based, glycerol + water as *plasticizer*, acetic acid (vinegar) as a catalyst and the second variation with the same combination with the addition of alcohol as a comparison. Characterization of bioplastics includes surface observations using SEM; crystallinity using XRD; determination of functional groups using FTIR; and analyzing of thermal properties using TGA and DSC. The characterization results show that bioplastics with a combination of cassava starch + glycerol + water + acetic acid (vinegar) + alcohol have a high degree of degradation. This is in accordance with the XRD analysis where this combination has a low crystallinity value. IR spectra showed that the presence of C-H Alkana groups, C = O esters, and C-H alkenes. While the SEM results showed a flat surface and the results of the TGA / DSC analysis which showed a mass reduction of 2.3234 mg.

### TERSEDIA ONLINE

01 Februari 2020

### Pendahuluan

Akhir-akhir ini para ilmuwan telah mengembangkan material dari sumber terbarukan seperti pati dan selulosa (Sangian *et al.*, 2019; Sangian *et al.*, 2018). Plastik adalah salah satu jenis material yang dibentuk dengan proses polimerisasi yang merupakan proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul lebih kompleks (Kumar *et al.*, 2011). Bahan ini merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan karena memiliki beberapa

keunggulan seperti kuat, ringan, tahan air dan harganya relatif murah (Mulyadi *et al.*, 2013). Setiap tahun sekitar 265.000.000 ton plastik yang diproduksi dan digunakan di dunia untuk keperluan industri maupun rumah tangga (Kipngetch dan Hillary, 2013). Namun, plastik yang beredar saat ini merupakan polimer sintesis yang tidak dapat terurai dalam waktu pendek sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan hidup (Davis dan Song, 2006). Permasalahan seperti inilah yang mengakibatkan pencemaran lingkungan. Plastik yang sifatnya tidak dapat terurai dalam waktu

\*Corresponding author: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Jalan Kampus Unsrat;

Email address: [engellitam@gmail.com](mailto:engellitam@gmail.com)

Published by FMIPA UNSRAT (2020)

pendek cenderung menyebabkan penumpukan, sehingga menimbulkan masalah kerusakan lingkungan seperti banjir (Surono, 2013).

Salah satu solusi untuk mengurangi permasalahan sampah plastik adalah dengan membuat plastik ramah lingkungan yang disebut bioplastik. Bioplastik merupakan plastik yang dapat terurai oleh mikroorganisme dan terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui (Radiyah et al., 2015). Keuntungan dari penggunaan bioplastik yaitu berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui, sehingga keberadaannya dapat terus dilestarikan. Bahan ini dapat dibuat dari bahan biomassa seperti pati, selulosa, lignin dan pektin (Bourtoom, 2008). Pengembangan bioplastik telah difokuskan pada pati yang merupakan bahan baku tersedia di alam (Liu et al., 2005). Di Indonesia, potensi pengembangan bioplastik sangat besar karena memiliki hasil pertanian dan kelautan yang dapat dikembangkan menjadi biopolimer (Suryanto, 2016). Diantaranya singkong (Ezeoha, S.L dan Ezenwanne J.N, 2013 dan Suryanto et al., 2016), Alpukat (Ginting et al., 2015), Kentang (Radiyah et al., 2015) dan Pisang (Widyaningsih et al., 2012), Umbi talas (Sinaga et al., 2014) dan lainnya.

Pati yang digunakan untuk penelitian ini adalah pati yang berasal dari singkong (*Manihot esculenta*). Potensi pati singkong sebagai bahan plastik ramah lingkungan sangat besar karena Indonesia merupakan Negara penghasil singkong ketiga terbesar di dunia dengan produk singkong di tahun 2014 mencapai 26 juta ton (Suryanto, 2016). Pada tahun 2017 produksi singkong di dunia mencapai 278,0 juta ton (FAO, 2017). Potensi tersebut dapat digunakan sebagai peluang untuk memberikan nilai tambah pada singkong sebagai bahan dasar dalam pembuatan kemasan plastik yang ramah lingkungan (Suryanto et al., 2016).

Peneliti Ezeoha dan Ezenwanne (2013) membuat bioplastik dengan bahan dasar pati singkong dengan penambahan polivil alkohol. Suryanto et al., (2016) juga berhasil membuat bioplastik dari pati singkong dengan pemanasan 80° C. Peneliti Kumoro dan Purbasari (2014) membuat bioplastik atau plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking dan tepung singkong dengan gliserol sebagai *plasticizer*.

Dalam pembuatan bioplastik berbahan dasar pati, terdapat kekurangan pada plastik yaitu sifat mekaniknya yang rendah (kekuatan tarik, regangan dan modulus young) serta bersifat hidrofilik. Cara mengatasi kekurangan tersebut adalah dengan melakukan pencampuran pati dengan biopolimer lain seperti gliserol dan sorbitol (Lazuardi dan Cahyaningrum, 2013). Menurut Boortom (2008), penggunaan gliserol memberikan kelarutan yang lebih tinggi pada film plastik dibandingkan sorbitol. Bioplastik dengan *plasticizer* gliserol memiliki fraktur yang halus dan rongga yang kecil (Ginting et al., 2015). Bioplastik yang terbuat dari pati singkong dan diberi *plasticizer* gliserol bersifat transparan,

jernih, homogen, fleksibel dan mudah dibawa (Phan et al, 2005).

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan kajian pembuatan lembaran plastik yang dicetak tipis dengan kombinasi (pati singkong + gliserol + air + asam asetat) dan (pati singkong + gliserol + air + asam asetat + alkohol). Bioplastik akan dikarakterisasi menggunakan pengukuran *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) untuk pengamatan morfologi permukaan, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan kristalinitas, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk penentuan gugus fungsi dan *Thermogravimeter Analisis* (TGA) dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk menentukan sifat termal dari bioplastik.

---

## Material dan Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah panci, kompor listrik, labu gelas Elenmeyer 100 ml dan 50 ml, sendok pengaduk dan *aluminum foil*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah tepung singkong sebagai bahan utama, gliserol, cuka, air mineral, dan alkohol. Untuk mengukur kristalinitas menggunakan XRD Model *Philips X'Pert-Pro X-ray Diffractometer*, melihat morfologi material menggunakan SEM Model *FEI, Type: Inspect S50*, Untuk menganalisis ikatan kimia menggunakan FTIR model Shimadzu serta mengidentifikasi sifat termal menggunakan TGA/DSC *Mettler Toledo*.

### Prosedur Kerja

Prosedur kerja dari penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu pembuatan bioplastik dan karakterisasi hasil penelitian.

### Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik dilakukan dua perlakuan dengan variasi :

1. 50 gram pati singkong, 25 ml gliserol, 25 ml asam asetat (cuka), dan 50 ml air.
2. 50 gram pati singkong, 25 ml gliserol, 25 ml asam asetat (cuka), 50 ml air dan penambahan alkohol 25 ml.

Tahap pertama dilakukan pencampuran semua bahan untuk komposisi pertama ke dalam panci. Campuran tersebut dipanaskan dengan menggunakan kompor dengan suhu 80°C kemudian diaduk dengan menggunakan sendok pengaduk. Pemanasan dan pengadukan dilakukan hingga cairan mengental dan menyerupai lem. Setelah itu, campuran didinginkan sebentar dan dicetak di papan kayu yang dialaskan *aluminum foil*. Cetakan plastik *biodegradable* tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari. Setelah kering, plastik dilepaskan dari cetakannya. Kemudian proses tersebut diulang untuk variasi 2.

### Karakterisasi SEM , XRD, FT-IR, TGA dan DSC

Bioplastik yang sudah jadi akan dipotong kecil-kecil dengan ukuran 2×2 cm dan akan dianalisis karakteristiknya dengan menggunakan XRD (*Philips X'Pert-Pro X-ray Diffractometer*), SEM (*FEI, Type: Inspect S50*) dan FT-IR (Shimadzu) di Laboratorium

Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Untuk karakteristik TGA dan DSC menggunakan TGA/DSC Mettler Toledo di Laboratorium Energi ITS Surabaya.

### Hasil dan Pembahasan Lembaran bioplastik

Dari hasil penelitian yang dilakukan, telah didapatkan bioplastik dengan dua variasi campuran. Variasi pertama digunakan 50 gram pati singkong, 50 ml air, 25 ml asam asetat (cuka) dan 25 ml pelarut gliserol. Variasi kedua digunakan komposisi yang sama seperti variasi pertama dengan tambahan 25 ml alkohol sebagai pembanding. Kedua campuran dipanaskan pada suhu 80°C selama 5 menit. Setelah cairan mengental dan menyerupai lem, campuran didinginkan pada papan kayu yang beralaskan aluminium foil. Pada proses selanjutnya, campuran akan masuk pada tahap pengeringan dengan bantuan sinar matahari. Hasil bioplastik berupa lembaran berwarna sedikit coklat muda, transparan dan elastis.



Gambar Lembaran Film Plastik

Gambar diatas menunjukkan hasil bioplastik berupa lembaran berwarna sedikit coklat muda, transparan dan elastis.

### Analisis Morfologi Permukaan

Uji morfologi permukaan plastik dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui struktur permukaan, retakan, kehalusan permukaan hasil bioplastik yang dibuat (Siregar 2009). Proses pengujian ini ditujukan untuk melihat perbandingan antara dua kombinasi yaitu (pati singkong + gliserol + air + asam asetat) dan (pati singkong + gliserol + air + asam asetat + alkohol).

Pada hasil SEM bioplastik kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat) dapat dilihat hasil analisis morfologi permukaan bioplastik menunjukkan permukaan struktur yang tidak rapat serta terlihat adanya retakan (*crack*). Retakan yang terjadi diduga karena ukuran amilopektin masih terlalu besar. Ukuran ini mengakibatkan tidak rapatnya partikel amilopektin pada matriks pati, yang ditunjukkan dengan adanya gumpalan-gumpalan pati berwarna putih yang tidak larut sempurna. Berbeda dengan bioplastik kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat + alkohol), menunjukkan bahwa permukaan morfologi yang homogen serta tidak adanya retakan serta pori yang terbentuk.

### Analisis Gugus Fungsi Bioplastik

FTIR merupakan karakterisasi yang didasarkan oleh getaran atom atau molekul dengan melewati radiasi inframerah melalui bahan atau sampel dan menghitung energi yang diserap, dimana energi tersebut berkorespondensi dengan frekuensi getaran atom pada bahan. Perbedaan serap bahan inilah yang dimanfaatkan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pati (Stuart, 2002).

Dari analisis spectra FTIR memperlihatkan bahwa adanya kemiripan antara spektra bioplastik dengan kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat) dan (pati + gliserol + air + asam asetat + alkohol).

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa adanya serapan pada 2966,52  $\text{cm}^{-1}$  sehingga pita yang nampak pada rentang 2850-2970  $\text{cm}^{-1}$  adalah gugus C-H Alkana (Radiyah, 2015). Menurut Huang *et al.*, (2006), ikatan C-C, C-O, C-O ester, dan C-O-H (asam karbonat) dapat diidentifikasi dengan kemunculan pita energi antara 800 and 1300  $\text{cm}^{-1}$ . Pada hasil yang didapat, gugus yang terlihat pada 1050-1300  $\text{cm}^{-1}$ . Pada serapan 1000  $\text{cm}^{-1}$ -1300  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan daerah khas gugus C-O ester. Keberadaan gugus C-O ester menandakan kemampuan terurai (Siregar, 2009). C-O ester merupakan gugus yang bersifat hidrofilik karena molekul air dapat mengakibatkan mikroorganisme pada lingkungan masuk pada matriks bioplastik sehingga merusak bioplastik tersebut (Nahir, 2017).

Pita yang nampak pada rentang 675-995  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C-H Alkena. Kumoro dan Purbasari (2014) juga menjumpai pita energi pada 926  $\text{cm}^{-1}$  merupakan ikatan glikosidik pada pati.

### Analisis Data X-Ray Diffraction (XRD)

Pola difraksi X-Ray dari bioplastik dianalisis menggunakan XRD tipe *Phillips X'Pert-Pro X-ray Diffractometer*, dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Pola difraksi diukur diantara  $2\theta = 10,01^\circ$  sampai  $89,99^\circ$  dengan *scanning rate* 20°. Hasil tersebut diolah menggunakan Microsoft Excel dan disajikan dalam bentuk grafik untuk melihat pola masing-masing sampel.

Spektra XRD menunjukkan dua kombinasi bioplastik (pati + gliserol + air + asam asetat) dan (pati + gliserol + air + asam asetat + alkohol). Pola difraktogram dari masing-masing sampel memiliki intensitas yang berbeda-beda pada setiap sudutnya dan memiliki puncak-puncak yang ditandai dengan kurva tajam. Puncak-puncak ini diketahui sebagai daerah Kristal (Harry *et al.*, 2016). Dari gambar difraktogram dapat ditunjukkan bahwa bioplastik dari pati singkong merupakan suatu material yang berbentuk amorf dan kristalin. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Greenwood (1997) bahwa pati singkong adalah material berbentuk semikristalin yaitu material yang terdiri dari unit kristal dan unit amorf. Nilai kristalinitas pada bioplastik pati singkong dihitung menggunakan metode Herman (Bansal *et al.*, 2010). Berikut adalah perhitungan nilai kristalinitas dari bioplastik pati singkong.

Pertama, nilai intensitas kristal ditandai dengan puncak yang tinggi. Kedua, intensitas amorf didapatkan dengan mencari intensitas kristal. Intensitas amorf ditandai dengan lembah sebelum daerah Kristal. Nilai kristalinitas dapat dihitung dengan persamaan Herman (Bansal *et al.*, 2010).

$$C = 100\% \frac{I_{kristal}}{I_{kristal} + I_{amorf}}$$

Berdasarkan hasil yang didapat diketahui bahwa nilai kristalinitas bioplastik dengan kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat + alkohol) lebih rendah dari bioplastik kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat) sehingga bioplastik ini lebih bagus karena proses terurainya cepat. Hal ini sesuai dengan penelitian Pramudita (2013) dimana salah satu kriteria polimer yang mampu terurai memiliki kristalinitas rendah.

#### Analisis Termal

Analisis termal adalah pengukuran fisika suatu bahan terhadap perubahan suhu dan digunakan untuk mengetahui ketahanan dan kestabilan polimer terhadap panas (Waldi, 2007). Pengukuran analisis termal dapat menggunakan *ThermoGravimeter Analysis* (TGA) dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

#### *ThermoGravimeter Analysis* (TGA)

Dari spektra TGA menunjukkan bahwa termogram TGA memberikan informasi mengenai penurunan massa akibat kenaikan suhu. Panas yang diberikan pada sampel akan meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu maka massa sampel tersebut menurun (Puspita, 2013). Pada gambar bioplastik dengan kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat) menunjukkan terjadinya proses dekomposisi termal pada suhu 27,49 °C sekitar 19,7125 % dengan kehilangan massa sebesar 2,1104 mg. Sedangkan, pada gambar bioplastik dengan kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat + alkohol) menunjukkan proses dekomposisi termal di mulai pada suhu 27,67 °C hingga 122,44 °C sekitar 10,0059 % dengan kehilangan massa sebesar 1,0804 mg dan proses dekomposisi terjadi pada suhu 112,30 °C hingga 173,98 °C sekitar 11,5125 % dengan kehilangan massa 1,2430 mg.

#### *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

Teknik DSC merupakan teknik analisa untuk mengukur perbedaan kalor yang masuk ke dalam sampel dengan pembandingan sebagai fungsi temperatur. Pada kurva DSC dari bioplastik dengan kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat) memperlihatkan adanya 4 buah lembah yang ditandai dengan titik leleh (Tm) dan titik kristalisasi (Tc). Adapun nilai Tm (°C) dan Tc (°C) dari kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat) adalah : 104.97 dan 106.37, 116.37 dan 119.19, 162.78 dan 164.64, 174.47 dan 177.05

Kurva DSC dari bioplastik kombinasi (pati + gliserol + air + asam asetat + alkohol) memperlihatkan 5 buah lembah yang ditandai dengan titik leleh (Tm) dan titik kristalisasi (Tc). Nilai

Tm (°C) dan Tc (°C) pada kombinasi ini antara lain : 112.13 dan 116.70, 148.56 dan 155.37, 175.36 dan 178.33, 181.86 dan 184.92, 191.13 dan 192.36.

#### Kesimpulan

Dari hasil-hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan bahwa bioplastik yang dibuat dari (pati singkong + gliserol + air + asam asetat + alkohol) adalah komposisi terbaik dalam hal keteruraian. Hal ini ditunjukkan dari analisis XRD karena memiliki nilai kristalinitas rendah disudut 20,35° dan pengurangan massa pada analisis termal sebesar 2.3234 mg. Bioplastik dengan penambahan alkohol mempunyai struktur permukaan yang halus dan tidak berpori. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus C-O Ester sehingga dikategorikan plastik dapat terdegradasi.

#### Daftar Pustaka

- Bansal, P., M. Hall, M.J. Realff, J.H. Lee, A.S. Bommaris. 2010. Multivariate Statistical Analysis of X-Ray Data from Cellulose: A New Method to Determine Degree of Crystallinity and Predict Hydrolysis Rate. *BioResearch Technology*. **101** : 4461-4471.
- Bourtoom, T. 2008. Edible Films and Coatings: Characteristics and Properties. *International Food Research Journal*. **15 (3)** : 237-248.
- Davis, G., and J.H. Song. 2006. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial Crops and Products*. **23 (2)** : 147-161.
- Ezeoha, S.L and J.N. Ezenwanne. 2013. Production of Biodegradable Plastic Packaging Film from Cassava Starch. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. **3 (10)** : 14-20.
- Food and Agriculture Organization. 2017. Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets. ISSN 0251-1959.
- Ginting, M. H. S., M. F. Taringan and A. M. Singgih. 2015. Effect of Gelatinization Temperature and Chitosan on Mechanical Properties of Bioplastics from Avocado Seed Starch (*Persea americana mill*) with Platicier Glycerol. *The International Journal Of Engineering And Science*. **4 (12)** : 36-43.
- Greenwood, C.T and D.N. Munro (1997). *Carbohydrates*. In R.J. Priestley, ed. Effects of Heat on Foodstuffs. Applied Science Publ. Ltd., London
- Harry, T.F., O.F. Joel, F.T. Ademiluyi, and K. Oduola. 2016. Performance Evaluation of Local Cassava Starches with Imported Starch for Drilling Fluid. *American Journal of Engineering Research*. **5** : 111-120.
- Huang, C.B., R. Jeng, M. Sain, B.A. Saville and M. Hubbes. 2006. Production, Characterization and Mechanical Properties of Starch Modified by *Ophiostoma* spp. *Bioresources*, **1 (2)** : 257-269.

- Kipngetch, T. E and M. Hillary. 2013. A Blend of Green Algae and Sweet Potato Starch as a Potential Source of Bioplastic Production and its Significance to the Polymer Industry. *International Journal of Green and Herbal Chemistry*. **2 (1)** : 15-19.
- Kumar, A.A., K. Karthick, and Arumugam, K. P. 2011. Properties of Biodegradable Polymers and Degradatin for Sustainable Development. *International Journal of Chemical Engeneering and Application*. **2 (3)** : 164-167.
- Kumoro, A.C dan A. Purbasari. 2014. Sifat Mekanik dan Morfologi Plastik Biodegradable dari Limbah Tepung Asking dan Tepung Tpioka Mnegunakan Gliserol sebagai Plasticizer. *Jurnal Teknik ISSN 0852-1697*. **35 (1)** : 8-16.
- Lazuardi, G. P dan S. H. Cahyaningrum. 2013. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik berbahan dasar kitosan dan pati singkong dengan *plasticizer* gliserol. *UNESA Journal of Chemistry*. **2 (3)** : 161-166.
- Liu, L., J. F. Kerry and J. P. Kerry. 2005. Selection of optimum extrusion technology parameters in the manufacture of edible/biodegradable packaging films derived from food-based polymers. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. **3 (3&4)** : 51-58.
- Mulyadi, Sri., Ely Sulista Ningsih dan Alwis Abbas. 2013. Modifikasi Propilena sebagai Polimer Komposit biodegradable dengan Bahan Pengisi Pati Pisang dan Sorbitol sebagai *Plastisizer*. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung 2013. Semirata 2013 FMIPA Unila. Hlm 119-122.
- Nahir, N. 2017. Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Asam (*Tamarindus indica L*). [Skripsi] Fakultas Saintek UIN Allaudin Makassar.
- Phan, D., F. Debeaufort. D. Luu and A. Voilley. 2005. Functional Properties of Edible AgarBased and Starch-Based Films for Food Quality Preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **53 (4)** : 973-981.
- Puspita, A. D. 2013. Pembuatan dan Karakterisasi Struktur Mikro dan Sifat Termal Film Plastik berbahan dasar Pati Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*). [Skripsi]. FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Radhiyatullah, A., N. Indriyani, M. Hendra dan S. Ginting. 2015. Pengaruh Berat Pati dan Volume Plasticizer Gliserol terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang. *Jurnal Teknik Kimia USU*. **4 (3)** : 35-39.
- Sangian, H.F., I. Aruan, G. H. Tamuntuan, M. Bobanto, B. A. Sadjab, R. Purwadi, Z. Zulnazri, V. A. J. Masinambow, S. Gunawan. 2019. A Comparative Study of the Structures, Crystallinities, Miller Indices, Crystal Parameters, and Particle Sizes of Microwave- and Saline Water-Treated Cassava Starch. *Bioresources*. **14 (4)** : 8212-8228
- Sangian, H.F., M. R. Sehe, G. H. Tamuntuan, Z. Zulnazri. 2018. Utilization of Saline Solutions in the Modification of Lingnocellulose from Champaca Wood. *Journal Korean Wood Science Technology*. **46 (4)** : 368-379
- Sinaga, R.F., G.M. Ginting, M.H.S Ginting dan R. Hasibuan. 2014. Pengaruh Penambahan Gliserol terhadap Sifat dan Pemanjangan saat Putus Bioplastik dari Pati Umbi Talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*. **3 (2)** : 19-24.
- Siregar BAS., 2009. Pencirian dan biodegradasi polipaduan (Styrofoam-Pati) dengan poliasamlaktat sebagai bahan biokompatibel. [skripsi]. FMIPA IPB, Bogor.
- Stuart, B. 2010. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley, Chicester.
- Surono, U.B. 2013. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Teknik*. **3 (1)** : 32-40.
- Suryanto, H., N.E. Wahyuningtyas, R. Wanjaya, P. Puspita dan S. Sukami. 2016. Struktur dan Kekerasan Bioplastik dari Pati Singkong. *Research Gate*.
- Waldi, J. 2007. Pembuatan Bioplastik Poli- $\beta$ -Hidroksialkanoat (PHA) yang dihasilkan oleh *Rastoniaeutropha* pada Substrat Hidrolisat Pati Sagu dengan Pemlastik Isopropil Palmitat. [skripsi]. Fakultas Pertanian IPB, Bogor.
- Widyarningsih, S., D. Kartika, dan Y.t. 2012. Nurhayati. Pengaruh Penambahan Sorbitol dan Kalsium Karbonat terhadap Karakteristik dan Sifat Biodegradasi Film dari Pati Kulit Pisang. *Molekul*. **7 (1)** : 69-81.