

Submitted : 23 Maret 2021

Revised : 17 April 2021

Accepted : 1 Mei 2021

SINTESIS BLEND FILM PLA-PATI MENGGUNAKAN ASAM ASETAT GLASIAL SEBAGAI COMPATIBILIZER

Wahyu Saptahadi¹, Vivi Anggraeni², Putri Shaufika Nazmi², Rahmayetty^{1,3*}

¹Program Studi Magister Teknik Kimia, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jalan Raya Jakarta Km.4 Pakupatan, Serang 42122, Indonesia

²Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

³Biomaterial Terapan dan Rekayasa Produk, Center of Excellence, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.03 Cilegon, 42435, Indonesia

*Email: rahmayetty@untirta.ac.id

Abstrak

Pati singkong merupakan polimer yang bersifat hidrofilik sehingga bila dikompositkan dengan PLA yang bersifat hidrofobik menyebabkan dispersi pati dalam matrik PLA yang tidak sempurna. Hal ini terjadi karena ketidakhomogenan antara sifat hidrofobik dari PLA dan hidrofilik dari pati. Untuk menjembatani hal tersebut dalam pembuatan *blend film* PLA/pati dengan metode *casting* membutuhkan *compatibilizer* asam asetat glasial agar film yang dihasilkan homogen. Blend film yang dihasilkan kemudian dianalisis *tensile strength*, *elongation at break*, dan titik leleh. Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan karakteristik *blend film* terbaik pada penambahan 3 ml asam asetat glasial dengan nilai *tensile strength* 16,6 MPa, *elongation at break* 13%, dan titik leleh 103,1°C.

Kata kunci: Pati Singkong, Poli Asam Laktat Asam, Blend Film, *Compatibilizer*, Asam Asetat Glasial

Abstract

Cassava starch is a hydrophilic polymer so that when it is composited with PLA, which is hydrophobic, the starch dispersion in the PLA matrix is imperfect. This imperfect occurs because of the inhomogeneity between the hydrophobic properties of PLA and the hydrophilic properties of starch. To resolve this, the making of PLA/starch blend films using the casting method requires a glacial acetic acid compatibilizer so that the resulting film is homogeneous. The resulting blend film was then analyzed for tensile strength, elongation at break, and melting point. Based on the results of this study, the characteristics of the best blend film were obtained in the addition of 3 ml of glacial acetic acid with a tensile strength value of 16.6 MPa, elongation at break 13%, and 103.1°C melting point.

Keywords: Cassava Starch, Poly Lactic Acid, Blend Film, *Compatibilizer*, Glacial Acetic Acid

1. PENDAHULUAN

Plastik konvensional yang saat ini banyak digunakan dalam kehidupan manusia umumnya berasal dari minyak bumi atau gas alam. Plastik konvensional memiliki kelebihan yaitu bersifat termal, memiliki kekuatan dan daya tahan material

yang kuat, tahan terhadap mikroorganisme, dan tahan terhadap air. Selain banyak kelebihannya, plastik konvensional juga mempunyai kekurangan yaitu memerlukan waktu yang lama untuk terurai di lingkungan sehingga menyebabkan penumpukan limbah plastik (Matsumoto & Taguchi, 2010). Cara

untuk menurunkan kerusakan lingkungan akibat dari limbah plastik tersebut adalah dengan mencari alternatif bahan baku yang dapat diubah menjadi plastik dengan kemampuan terdegradasi secara alami.

Poli-asam laktat (PLA) adalah polimer yang bersifat *biodegradable*, *biocompatible*, nonkarsinogenik, dan tidak beracun bagi tubuh manusia serta dapat diproduksi dari bahan-bahan terbarukan seperti asam laktat sehingga baik digunakan dalam industri pengemasan makanan (Lasprilla et al., 2012). PLA memiliki kekurangan dalam pengaplikasiannya karena mempunyai sifat yang rapuh, getas, hidrofobik, dan *elongation at break* kurang dari 10%, sehingga pada kondisi pemrosesan polimer kurang maksimal (Rasal and Hirt, 2010; Rahmayetty et al., 2017). Salah satu sifat PLA yaitu hidrofobik yang menyebabkan laju degradasi sangat lemah sehingga menjadi kendala pada aplikasi kemasan makanan. Untuk memperbaiki kekurangan dari sifat PLA dapat dilakukan dengan penambahan pati.

Pati adalah polimer alam, *biodegradable*, murah dan berlimpah serta tersedia dalam bentuk molekul polisakarida. Pati terdiri dari dua polimer yaitu amilosa dan amilopektin. Polimer hasil *blend* PLA/pati menghasilkan kekuatan mekanik lebih besar dan deformasi lebih rendah dari PLA biasa dan dapat diproduksi dengan *solution blending* dan *melting blending* (Zuo et al., 2014). *Blending* PLA dengan pati akan meningkatkan karakteristik mekanik pada polimer *blend* yang ditunjukkan oleh penurunan nilai *tensile strength* serta peningkatan nilai *elongation at break* sehingga polimer ini memiliki daya regang lebih besar dibanding PLA biasa (Yu et al., 2006). Rahmayetty dkk, (2018) melaporkan bahwa sintesis *blend film* PLA/pati dengan metode *casting* menghasilkan *film* dengan sifat *tensile strength* dan *elongation at break* yang masih rendah serta tekstur permukaan yang masih kasar. Hal ini disebabkan oleh ketidakhomogenan campuran. Ketidakhomogenan ini karena sifat hidrofobik dari PLA dan hidrofilik dari pati sehingga dispersi pati dalam matrik PLA yang tidak sempurna.

Pencampuran material yang bersifat hidrofobik dan hidrofilik dapat dilakukan dengan metode kimia secara reaksi esterifikasi, dengan menggunakan *compatibilizer* yang berfungsi untuk meningkatkan kompatibilitas antara larutan hidrofobik dan hidrofilik, sehingga kedua komponen akan bercampur dengan homogen. *Compatibilizer* yang biasa digunakan dalam bidang pangan yaitu asam asetat glasial.

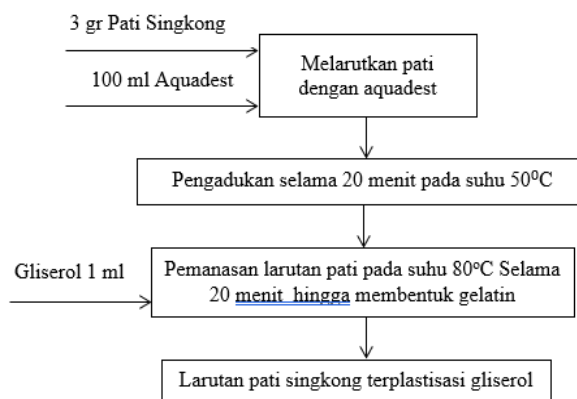
2. METODE PERCOBAAN

2.1. Bahan

Tepung tapioka diproduksi dari PT Bogor Indonesia, PLA komersial dari Amerika Nature Works. Bahan kimia berupa asam asetat glasial, kloroform (p.a) dan gliserol diproduksi oleh PT Merck Indonesia.

2.2. Pembuatan Larutan Pati Terplastisasi Gliserol

Tahap pembuatan larutan pati terplastisasi gliserol didasarkan pada penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh Kanani dkk. (2017). Preparasi pati singkong dengan jumlah tertentu dilarutkan dengan aquadest di dalam gelas beker hingga mempunyai konsentrasi 3% (w/v). Campuran larutan pati singkong yang diperoleh diaduk selama 20 menit pada suhu 50°C. Kemudian, ditambahkan gliserol sebanyak 1,2% (v/v) dari larutan pati. Selanjutnya, campuran dipanaskan pada temperatur 65°C selama 15 menit hingga membentuk gelatin, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahap pembuatan larutan pati terplastisasi gliserol

2.3. Tahap Pembuatan Polimer Blend Pati/PLA

Pada tahap pembuatan polimer blend PLA dilakukan dengan melarutkan PLA menggunakan kloroform dalam temperatur kamar 25°C. Kemudian ditambahkan pati terplastisasi gliserol dengan rasio dibandingkan PLA/pati terplastisasi gliserol sebesar (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100) serta ditambahkan asam asetat glasial sebagai *compatibilizer agent* sebanyak 1%, 3%, 5%, dan 10% v/v PLA. Selanjutnya, campuran diaduk dengan suhu 50°C selama 20 menit sampai membentuk larutan polimer *blend*. Larutan polimer *blend* dicetak pada plat kaca dengan ukuran 15 × 15 cm. Kemudian dilakukan proses pengeringan pada temperatur 70°C selama 6 jam. *Blend film* yang telah kering dilepas dari plat kaca dan dilakukan analisis *tensile strength*, *elongation at break*, dan gugus fungsinya.

2.4. Uji Tensile Strength

Kedua sisi *blend film* dijepit dengan alat uji tarik, kemudian alat dijalankan hingga *blend film* putus. Pengujian kuat tarik *blend film* akan diperoleh dengan rumus:

$$Tensile\ Strength\ (MPa) = \frac{Gaya\ Maksimum}{Luas\ Permukaan\ Film} \quad (1)$$

2.5. Uji Elongation At Break

Blend film dibentuk menggunakan cetakan dengan ukuran lebar 0,5 cm dan panjang 7 cm. Alat yang digunakan pada uji ini yaitu *autograph* pada kecepatan tarik 1 mm/detik. *Blend film* diletakkan

pada alat dan dilihat panjang awalnya lalu alat dioperasikan sampai *blend film* putus.

$$\text{Elongation at break (\%)} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

2.6. Uji Gugus Fungsi

Analisis PLA dengan alat FTIR diinginkan untuk menampilkan pita serapan melebar yang berintensitas di sekitar 4000 sampai 3000 cm^{-1} untuk menghasilkan sifat dari vibrasi ulur OH.

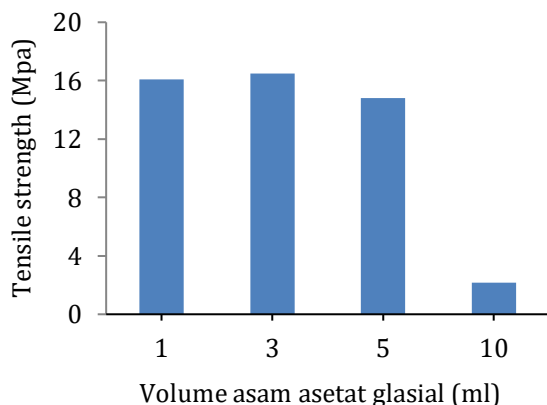
2.7. Uji Termal

Uji termal dilakukan dengan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Sampel ditimbang dan dipanaskan dari temperatur 20°C sampai 250°C dengan laju pemanasan 10°C per menit dimana pada temperatur 250°C ditahan selama 5 menit, kemudian temperatur diturunkan hingga 20°C dengan laju penurunan panas 10°C per menit dan pada temperatur 20°C ditahan selama 3 menit, selanjutnya temperature dinaikkan kembali hingga 250°C. Analisis dilakukan dengan menaikkan suhu sampel secara bertahap dan menentukan perubahan berat sampel terhadap temperatur. Suhu dalam metode pengujian mencapai 250°C. Perubahan berat akibat proses pemanasan dapat ditentukan langsung dari termogram yang diperoleh. Setelah data diperoleh dapat diketahui nilai titik leleh dari masing-masing sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Tensile Strength

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh penambahan asam asetat glasial terhadap *tensile strength* pada *blend film* PLA-pati, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram *tensile strength* pada *blend film*

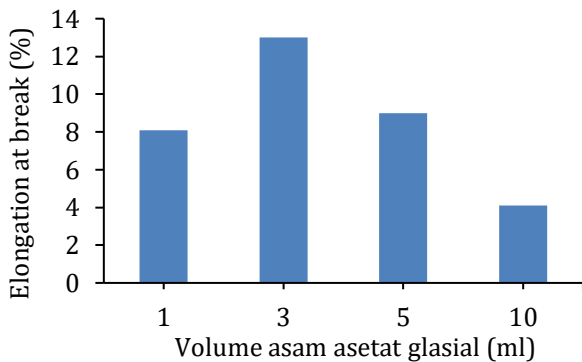
Berdasarkan Gambar 2, didapatkan nilai *tensile strength* tertinggi yaitu 16,6 MPa pada penambahan 3 ml dan nilai terendah yaitu 2,17 MPa pada penambahan 10 ml. Nilai *tensile strength* pada *blend film* mengalami peningkatan dengan penambahan asam asetat glasial dari 1 ml ke 3 ml tetapi cenderung menurun dengan penambahan asam asetat glasial sebanyak 5 dan 10 ml. Hal ini disebabkan karena semakin banyak asam asetat glasial yang digunakan maka *blend film* yang

dihasilkan semakin homogen dan dapat meningkatkan nilai *tensile strength* (Coniwanti dkk, 2014). Pada hasil penelitian ini didapatkan nilai optimum asam asetat glasial untuk homogenitas pada *blend film* adalah 3 ml. Apabila asam asetat glasial yang digunakan melebihi nilai optimumnya maka *blend film* yang dihasilkan justru menjadi kurang homogen. Hal ini disebabkan karena monomer-monomer dari *compatibilizer* tidak berikatan atau berinteraksi bila jumlahnya terlalu banyak (Wang et al., 2002) sehingga nilai *tensile strength* menurun. Selain itu, menurunnya nilai *tensile strength* juga disebabkan karena distribusi gugus *compatibilizer* yang tidak merata sehingga terbentuknya perbedaan antar permukaan gugus polimer hidrofilik dan hidrofobik meskipun sudah dihubungkan oleh *compatibilizer*. Hal ini sama seperti dengan penelitian yang dilaporkan oleh Waryat dkk. (2018) dimana penambahan *compatibilizer* dapat menurunkan nilai *tensile strength*.

Bila dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan Rahmayetty dkk. (2018) *blend film* PLA-pati tanpa penambahan *compatibilizer* menghasilkan *tensile strength* sebesar 2,32 MPa, sedangkan pada penelitian ini dengan penambahan *compatibilizer* (asam asetat glasial) menghasilkan *tensile strength* tertinggi sebesar 16,6 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa komposit PLA dengan pati teresterifikasi asam asetat glasial memiliki kekuatan tarik yang lebih baik daripada *native pati/PLA*. Kriteria nilai *tensile strength* golongan *Moderate Properties* yaitu 10-100 MPa (Purwanti, 2010), sedangkan menurut SNI *tensile strength* untuk *blend film* adalah 24,7 - 302 MPa. Dilihat dari nilai *tensile strength* yang dihasilkan dalam penelitian ini, maka *blend film* yang dihasilkan sudah dikategorikan sebagai plastik dengan sifat mekanik yang moderat tetapi belum sesuai dengan nilai kuat tarik berdasarkan SNI.

3.2. Elongation At Break

Elongation at break merupakan penambahan panjang maksimum dari *blend film* sebelum terputus saat ditambahkan beban. Sifat elastis dan lentur harus dimiliki *blend film* agar mendapatkan nilai elongasi terbaik. Pengujian elongasi dilakukan dengan membandingkan penambahan panjang saat sebelum dan sesudah ditambahkan beban untuk dilakukannya uji tarik. Hasil *elongation at break* dari *blend film* dengan variasi asam asetat glasial dapat dilihat pada Gambar 3.

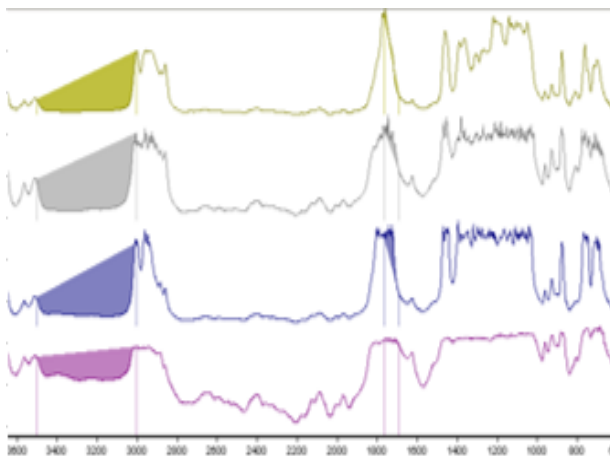


Gambar 3. Diagram *elongation at break* pada *blend film*

Pada Gambar 3 terlihat bahwa elongasi tertinggi sebesar 13 % pada penambahan asam asetat glasial 3 ml. Nilai elongasi terendah diperoleh pada penambahan asam asetat glasial 10 ml yaitu sebesar 4,1 %. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan asam asetat yang berlebihan (melebihi 3 ml) akan menyebabkan menurunnya nilai elongasi. Hal ini disebabkan karena pada penggunaan asam asetat glasial 5 dan 10 ml menghasilkan *blend film* dengan gaya adhesi antara PLA-pati yang lemah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Waryat dkk. (2018), bahwa penurunan nilai elongasi disebabkan oleh lemahnya adhesivitas antara bahan campuran yang mengakibatkan komposit menjadi rapuh (*brittle*). Nilai elongasi tertinggi yang didapat pada penelitian ini masih di bawah 15 % yang menunjukkan bahwa material tersebut masih rapuh (El Hadi et al, 2017). Merujuk pada laporan Purwanti (2010), maka *blend film* yang dihasilkan termasuk golongan *moderate properties* yaitu 10–20 %.

3.3. Verifikasi Reaksi Esterifikasi

Untuk memverifikasi bahwa pati dan asam asetat glasial (anhidrat) mengalami reaksi esterifikasi melalui metode *casting*, maka analisis FTIR dilakukan untuk mengamati perubahan dalam grup fungsional pada pati yang dimodifikasi. Spektra inframerah dari pati teresterifikasi asam asetat glasial disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektra IR gugus hidroksil dan ester C-O

Pada Gambar 4, penampakan kurva berurutan dari atas ke bawah menjelaskan penambahan volume asam asetat glasial dari 1; 3; 5; 10 ml. Karakteristik puncak penyerapan pati asli, puncak getaran penyerapan gugus hidroksil mendekati panjang gelombang 3000-3500 cm^{-1} , sedangkan untuk puncak getaran penyerapan C-O mendekati 1720 cm^{-1} . Hasil spektra gugus fungsi pati teresterifikasi pada penelitian ini memiliki kemiripan dengan yang dilaporkan J.R. Dontulwar et al. (2006) dan X.F. Ma et al. (2008). Puncak getaran penyerapan C-O pada *peak* 1720 cm^{-1} dikonfirmasi sebagai puncak getaran peregangan ikatan ester. Hal ini membuktikan bahwa kerangka pati mengandung asam asetat glasial, sehingga dapat dipastikan reaksi esterifikasi dengan metode *casting* antara pati dan asam asetat glasial terjadi.

3.4. Uji 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 (titik leleh) dari *blend film* dapat menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Analisis DSC bertujuan untuk melihat titik leleh dari sampel. Nilai titik leleh sangat diperlukan untuk menentukan kondisi proses dan aplikasi produk yang dihasilkan

Pada analisa DSC, sampel yang digunakan adalah *blend film* PLA-Pati dengan penambahan asam asetat glasial yaitu 1, 3, 5, dan 10 ml. Berdasarkan analisis DSC diperoleh hasil titik leleh untuk *blend film* PLA-Pati dengan variasi asam asetat glasial 1, 3, 5, dan 10 ml adalah 101,9; 103,1; 93,9; dan 91,5°C. Pada tahap ini diduga bahwa *blend film* melepas bahan volatil seperti air. Martinez-Camacho (2010) menyatakan bahwa peristiwa endotermik antara suhu 40-120°C berkaitan dengan terlepasnya komponen mudah menguap dan kelompok hidrofilik pada *blend film*. Hasil analisis DSC dari *blend film* PLA-Pati dengan variasi asam asetat glasial dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis DSC *blend film*

| Asam Asetat Glasial (ml) | Titik Leleh (°C) |
|--------------------------|------------------|
| 1 | 101,9 |
| 3 | 103,1 |
| 5 | 93,9 |
| 10 | 91,5 |

Berdasarkan data di atas, penambahan asam asetat glasial dengan variasi volume menyebabkan perbedaan titik leleh *blend film* PLA-Pati. Penambahan asam asetat glasial sebanyak 3 ml menghasilkan titik leleh *blend film* tertinggi yaitu 103,1°C. Hal ini disebabkan karena titik leleh dipengaruhi oleh ikatan hidrogen. Semakin banyak ikatan hidrogen yang ada dalam *blend film* maka akan semakin tinggi pula titik lelehnya, karena energi yang dibutuhkan untuk memutus ikatannya juga semakin besar (Wahyu, 2009). Asam asetat glasial mengandung gugus -OH

yang dapat membentuk ikatan hidrogen serta akan menyusun *blend film* yang kuat dan tidak rapuh (Hewitt, 2003). Jadi semakin banyak asam asetat glasial yang digunakan maka titik lelehnya akan semakin tinggi juga. Pada penggunaan asam asetat glasial sebanyak 5 dan 10 ml, titik leleh pada *blend film* mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh lemahnya ikatan antara gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik (Pushpadass *et al.*, 2010). Pada hasil penelitian ini, penambahan asam asetat 5 dan 10 ml menghasilkan struktur *blend film* yang kurang homogen.

4. KESIMPULAN

Penambahan *compatibilizer* asam asetat glasial dapat meningkatkan homogenitas, nilai *tensile strength*, *elongation at break* dan titik leleh *blend film*. Penambahan *compatibilizer* asam asetat dalam jumlah berlebih menyebabkan sifat mekanik *blend film* PLA/pati menurun. Karakteristik *blend film* terbaik dengan warna putih dan tekstur yang halus dihasilkan pada penambahan 3 ml asam asetat glasial dengan nilai *tensile strength*, *elongation at break* dan titik leleh secara berurutan adalah 16,6 Mpa, 13%, dan 103,1°C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Coniwanti, Pamilia, Laila, Linda, & Alfira, Mardiyah Rizka. (2015). Pembuatan film plastik biodegradabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan pemplastis gliserol. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(4).
- Dontulwar, JR, Borikar, DK, & Gogte, BB. (2006). An ester polymer synthesis and its characterization using starch, glycerol and maleic anhydride as precursor. *Carbohydrate polymers*, 65(2), 207-210.
- El-Hadi, Ahmed M. (2017). Increase the elongation at break of poly (lactic acid) composites for use in food packaging films. *Scientific reports*, 7, 46767.
- Hewitt, PG. (2003). *Conceptual Integrated Science Chemistry*: San Fransisco: Pearson Education, Inc.
- Kanani, Nufus, Wardalia, Wardalia, Wardhono, Endarto, & Rusdi, Rusdi. (2017). Pengaruh Temperatur Pengeringan Terhadap Swelling Dan Tensile Strength Edible Film Hasil Pemanfaatan Pati Limbah Kulit Singkong. *Jurnal Konversi*, 6(2), 75-82.
- Lasprilla, Astrid JR, Martinez, Guillermo AR, Lunelli, Betânia H, Jardini, André L, & Maciel Filho, Rubens. (2012). Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices—A review. *Biotechnology advances*, 30(1), 321-328.
- Ma, Xiaofei, Chang, Peter R, Yu, Jiugao, & Wang, Ning. (2008). Preparation and properties of biodegradable poly (propylene carbonate)/thermoplastic dried starch composites. *Carbohydrate Polymers*, 71(2), 229-234.
- Martínez-Camacho, AP, Cortez-Rocha, MO, Ezquerro-Brauer, JM, Graciano-Verdugo, AZ, Rodriguez-Félix, F, Castillo-Ortega, MM, Plascencia-Jatomea, M. (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties. *Carbohydrate polymers*, 82(2), 305-315.
- Matsumoto, Ken'ichiro, & Taguchi, Seiichi. (2010). Enzymatic and whole-cell synthesis of lactate-containing polyesters: toward the complete biological production of polylactate. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 921-932.
- Purwanti, Ani. (2010). Analisis kuat tarik dan elongasi plastik kitosan terplastisasi sorbitol. *Jurnal Teknologi*, 3(2), 99-106.
- Pushpadass, Heartwin A, Weber, Robert W, Dumais, Joseph J, & Hanna, Milford A. (2010). Biodegradation characteristics of starch-polystyrene loose-fill foams in a composting medium. *Bioresource technology*, 101(19), 7258-7264.
- Rahmayetty, Sukirno, Prasetya, Bambang, & Gozan, Misri. (2017). Synthesis and characterization of L-lactide and polylactic acid (PLA) from L-lactic acid for biomedical applications. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Rahmayetty, Rahmayetty, Kanani, Nufus, & Wardhono, Endarto Yudo. (2018). Pengaruh penambahan PLA pada pati terplastisasi gliserol terhadap sifat mekanik blend film. *Prosiding Semnastek*.
- Rasal, Rahul M, Janorkar, Amol V, & Hirt, Douglas E. (2010). Poly (lactic acid) modifications. *Progress in polymer science*, 35(3), 338-356.
- Wahyu, Maulana Karnawidjaja. (2009). Pemanfaatan pati singkong sebagai bahan baku edible film. Beswan Djarum. Fakultas Teknologi Industri Pertanian. Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Waldi, J. (2007). Pembuatan bioplastik poli-β-hidroksialkanoat(pha) yang dihasilkan oleh *Rastonia eutropha* pada substrat hidrolisat pati sagu dengan pemlastis isopropil palmitat. Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.
- Wang, Zhengzhou, Qu, Baojun, Fan, Weicheng, Hu, Yuan, & Shen, Xiaofeng. (2002). Effects of PE-g-DBM as a compatiblizer on mechanical properties and crystallization behaviors of magnesium hydroxide-based LLDPE blends. *Polymer degradation and Stability*, 76(1), 123-128.
- Waryat, Waryat, Romli, M, Suryani, A, Yuliasih, I, & Johan, S. (2018). Penggunaan Compatibilizer Untuk Meningkatkan Karakteristik Morfologi, Fisik Dan Mekanik Plastik Biodegradabel Berbahan Baku Pati Termoplastik-LLDPE. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(3), 214-221.
- Yu, Long, Dean, Katherine, & Li, Lin. (2006). Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in polymer science*, 31(6), 576-602.
- Zuo, Yingfeng, Gu, Jiyong, Yang, Long, Qiao, Zhibang, Tan, Haiyan, & Zhang, Yanhua. (2014). Preparation and characterization of dry method esterified starch/polylactic acid composite materials. *International journal of biological macromolecules*, 64, 174-180.