



APLIKASI PLASTICIZER GLISEROL PADA PEMBUATAN PLASTIK BIODEGRADABLE DARI BIJI NANGKA

Fetty Anggarini*), Latifah dan Siti Sundari Miswadi

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Agustus 2013
Disetujui Agustus 2013
Dipublikasikan November 2013

Kata kunci:
plasticizer gliserol
plastik *biodegradable*
biji nangka

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan biji nangka untuk pembuatan plastik *biodegradable* dengan menggunakan gliserol sebagai *plasticizer*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui formula terbaik bahan-bahan pembuat plastik *biodegradable* yang mendekati sifat plastik SNI, mengetahui pelarut yang menghasilkan plastik dengan sifat yang mendekati sifat plastik SNI serta mengetahui hasil uji karakteristik plastik yang dibuat. Pelarut yang digunakan adalah aquades dan pentanol, sedangkan gliserol yang ditambahkan, divariasikan 20, 25 dan 30% dari berat pati. Formulasi terbaik dari bahan-bahan pembuat plastik yang mendekati sifat plastik SNI, yaitu kuat tarik 24,7-302 MPa, elongasi 21-220% dan hidrofobitas 99%, dihasilkan oleh campuran pati-gliserol 20%. Campuran pati-aquades-gliserol 20% menghasilkan plastik dengan nilai kuat tarik sebesar 58,83 MPa, elongasi 22,5%, hidrofobitas 79,02%, dan terdegradasi 54% dalam waktu 6 hari dengan degradabilitas 7,4 mg/hari. Hasil analisis gugus fungsional masing-masing plastik menunjukkan adanya gugus ester dan karboksil yang menandakan bahwa plastik yang dihasilkan bersifat *biodegradable*.

Abstract

Used of jackfruit seeds in fabrication biodegradable plastics with plasticizer glycerol had studied. The purpose of this research are for studying the best formula of biodegradable plastic ingredients which is approximate to the characteristic of SNI plastic, studying the solvent which is approximate to the characteristic of SNI plastic and studying the characterization of this plastic. Characteristic of SNI plastic are 24,7-302 MPa of tensile strength, 21-220% elongation and 99% hydrofobic. The solvent used in this research are water and pentanol, also various glycerol at 20, 25 and 30% from the starch weight. The best formula is starch-water-glycerol 20%. This formula produce plastic with 58,83 MPa of tensile strength, 22,5% elongation, 79,02% hydrofobic and degraded 54% in 6 days with degradability 7,4 mg/day. Analysis result of functional groups each plastic showing that there are ester and carboxyl groups which indicated that this plastic is biodegradable.

Pendahuluan

Plastik merupakan bahan kimia sintetik yang bersifat ringan, kuat dan elastis. Produk plastik sintetik membutuhkan waktu lebih dari 100 tahun agar dapat terdegradasi sempurna (Kumar, dkk.; 2011). Saat terurai, partikel-partikel plastik akan mencemari tanah dan air tanah. Jika dibakar, sampah plastik akan menghasilkan asap beracun yang berbahaya bagi kesehatan, yaitu jika proses pembakarannya tidak sempurna, plastik akan mengurai di udara sebagai dioksin (Kurniawan; 2010).

Plastik sintetik tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga disebut *non-biodegradable* (Borghai, dkk.; 2010). Plastik *non-biodegradable* tidak dapat dihancurkan dengan cepat dan alami oleh mikroba penghancur di dalam tanah, menyebabkan terjadinya penumpukan limbah dan mengakibatkan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup (Sanjaya dan Tyas; 2009). Plastik *non-biodegradable* yang dibuat dari minyak bumi sulit terdegradasi karena memiliki berat molekul yang sangat tinggi dan kereaktifan yang rendah (Thakor, dkk.; 2005).

Biodegradable berasal dari kata *bio* dan *degradable*. *Bio* berarti hidup, sedangkan *degradable* berarti dapat diuraikan. Plastik *biodegradable* adalah bahan yang mampu mengalami dekomposisi menjadi karbon-dioksida, metana, senyawa anorganik atau biomasa yang mekanismenya didominasi oleh aksi enzimatis dari mikroorganisme yang bisa diukur dengan pengujian standar, dalam waktu spesifik, mencerminkan kondisi penggunaan yang tersedia (Seigel & Lisa; 2007). Plastik *biodegradable* yang terbakar tidak menghasilkan senyawa kimia yang berbahaya (Huda & Feris; 2007). Ungkapan plastik *biodegradable* merujuk pada serangan mikroorganisme pada material berbasis polimer yang tidak larut dalam air, yaitu plastik. Oleh karena kurang larut dalam air dan ukuran molekul polimer, mikroorganisme tidak mampu berpindah dalam material polimer secara langsung kedalam sel sebagai tempat sebagian besar proses biokimia (Sharma, dkk.; 2011).

Plastik *biodegradable* dari bahan pati bersifat kaku dan rapuh, sehingga diperlukan *plasticizer* yang berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas plastik. Gliserol dan sorbitol merupakan *plasticizer* yang efektif karena memiliki kemampuan untuk mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intramolekuler. Gliserol mampu berinteraksi dengan

molekul amilopektin, namun mekanisme reaksi dan immobilisasi *plasticizer* belum bisa dijelaskan karena belum ada penelitian lebih lanjut. Ada kemungkinan bahwa *plasticizer* ikut andil dalam mekanisme substitusi, sehingga menurunkan mobilitas keseluruhannya (Kruiskamp, dkk.; 2001).

Walaupun penggunaan berbagai bahan dengan kandungan pati yang tinggi telah terbukti efektif dan menghasilkan plastik dengan kualitas yang diharapkan, namun bahan-bahan alam tersebut ternyata merupakan bahan yang masih digunakan oleh masyarakat luas sebagai salah satu makanan pokok pengganti nasi, misalnya kentang dan singkong, sehingga perlu dicari suatu bahan yang mengandung pati tetapi tidak berasal dari bahan pangan pokok. Dengan melihat perkembangan penelitian tentang plastik *biodegradable* yang umumnya menggunakan bahan-bahan alam dengan kandungan pati, maka akan diteliti formula *biodegradable* plastik yang bahan utamanya adalah biji nangka. Biji nangka dipilih sebagai bahan pembuat plastik karena selain kandungan patinya yang cukup tinggi, biji nangka ini juga bukan termasuk bahan utama makanan pokok pengganti nasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui formula terbaik dan pelarut yang menghasilkan plastik dengan sifat yang mendekati sifat plastik sesuai SNI, serta mengetahui hasil uji karakteristik plastik *biodegradable* yang dihasilkan.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan adalah blender, *oven*, *hot plate* dan *magnetic stirrer*, termometer 100°C, desikator, neraca analitik (Ohaus Adventurer \pm 0,0001 gram), dan cetakan plastik. Bahan yang digunakan adalah biji nangka, aquades, n-pentanol, gliserol (Brataco). Gliserol yang digunakan divariasikan 20, 25 dan 30% (v/b) dari 10 gram pati yang digunakan dalam 200 mL pelarut.

Tepung pati biji nangka diperoleh dengan cara ekstraksi sederhana. Biji nangka diblender, ditambah dengan air hangat, lalu diperas. Hasil perasan didiamkan selama 12-24 jam untuk mengendapkan pati. Endapan pati diambil dan dikeringkan dengan dioven.

Pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan dengan memanaskan campuran pati dan pelarut dengan perbandingan 1:20 dalam gelas beker. Campuran dipanaskan sambil terus diaduk selama 35 menit. Kemudian menambahkan gliserol sesuai variasi, dan di-*stirrer* lagi selama 5

menit. Gel yang terbentuk dituangkan ke dalam cetakan dan dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 60°C selama 24 jam. Karakterisasi gugus ujung dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA UGM, sedangkan uji kuat tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin UGM.

Uji ketahanan air dilakukan dengan cara memotong film plastik 1 cm x 1 cm, lalu dicelupkan ke dalam gelas beker berisi 10 mL akuades. Plastik diambil setelah satu menit, air di permukaan plastik dilap hati-hati dengan kertas tisu, selanjutnya ditimbang. Langkah ini diulang-ulang sampai diperoleh berat konstan.

$$\text{Air yang diserap} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Ketahanan air plastik = 100% - persen air yang diserap

Uji biodegradabilitas dilakukan dengan metode *soil burial test*, yaitu dengan cara memotong film plastik berukuran 5 cm x 1 cm. Plastik didiamkan dalam desikator selama 24 jam kemudian ditimbang. Plastik dikubur dalam tanah selama enam hari dengan kedalaman tanah adalah 5 cm. Setelah enam hari, sampel diambil, dicuci dengan akuades, dan dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam kemudian ditimbang lagi.

$$\% \text{ Kehilangan berat} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\%$$

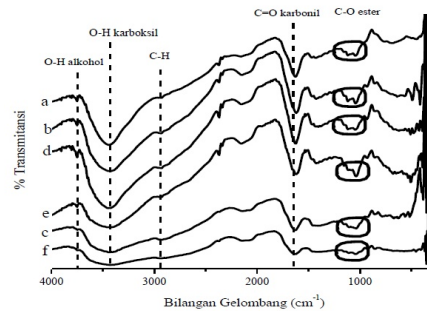
$$\text{Degradabilitas} = \frac{W_0 - W_1 \text{mg}}{6 \text{ hari}}$$

Hasil dan Pembahasan

Analisis gugus ujung plastik *biodegradable* dari biji nangka ditunjukkan melalui Gambar 1. Terlihat bahwa O-H karboksil yang terdapat pada bilangan gelombang 3400-an puncaknya semakin melebar seiring dengan bertambahnya gliserol. Hal ini menunjukkan, bahwa intensitas O-H yang dilewatkan semakin menurun. Demikian juga yang terjadi pada puncak-puncak lain, yaitu C=O karbonil di 1700-an nm, C-O ester di 1000-1150 cm⁻¹, C-H alifatik di bilangan gelombang 2800-2950 cm⁻¹, serta O-H alkohol di bilangan gelombang 3700-3780 cm⁻¹ (Darni, dkk.; 2009).

Pelebaran puncak dan berkurangnya intensitas gugus yang dilewatkan menunjukkan bahwa masing-masing komponen dengan gugus fungsinya mengalami interaksi yang semakin baik sehingga semakin menghilangkan gugus fungsi aktif yang sebelumnya masih ada pada pati, gliserol dan pelarut. Intensitas yang semakin berkurang disebabkan oleh jumlah

gugus OH dari gliserol dalam plastik yang semakin berkurang karena penyisipan molekul gliserol dalam ikatan hidrogen intermolekul pati.



Gambar 1. Spektre FT-IR plastik *biodegradable* biji nangka (a) aquades-gliserol 20%, (b) aquades-gliserol 25%, (c) aquades-gliserol 30%, (d) pentanol-gliserol 20%, (e) pentanol-gliserol 25%, (f) pentanol-gliserol 30%

Dari spektra FT-IR keenam plastik yang disintesis, tidak terdapat serapan gugus fungsi baru. Darni dan Herti (2010) menyatakan, bahwa adanya gugus fungsi C=O karbonil dan ester (COOH) pada plastik yang disintesis mengindikasikan plastik tersebut memiliki kemampuan biodegradabilitas. Hal ini disebabkan karena baik C=O karbonil maupun C-O ester merupakan gugus-gugus yang bersifat hidrofilik. Kemampuan kedua gugus tersebut dalam mengikat molekul-molekul air yang berasal dari lingkungan mengakibatkan mikroorganisme yang dapat memasuki matriks plastik juga semakin banyak seiring dengan semakin tingginya intensitas gugus-gugus yang bersifat hidrofilik.

Uji kuat tarik dilakukan untuk mengetahui gaya maksimum yang dapat ditahan oleh sebuah plastik, sedangkan persen elongasi digunakan untuk mengetahui elastisitas plastik. Hasil uji kuat tarik dan persen elongasi untuk keenam film plastik yang dibuat ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Nilai kuat tarik plastik *biodegradable* biji nangka

Pelarut	Kuat tarik		
	Gliserol 20 %	Gliserol 25 %	Gliserol 30 %
Aquades	58,83 ± 1,74 MPa	43,45 ± 1,53 MPa	35,51 ± 0,82 MPa
n-Pentanol	48,67 ± 2,96 MPa	56,71 ± 4,31 MPa	23,84 ± 2,53 MPa

Tabel 2. Nilai persen elongasi plastik *biodegradable* biji nangka

Pelarut	Persen elongasi		
	Gliserol 20 %	Gliserol 25 %	Gliserol 30 %
Aquades	22,5 %	17,5 %	13,1 %
n-Pentanol	17,9 %	18,14 %	8,1 %

Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat

bahwa pada pelarut aquades, kekuatan tarik dan persen elongasi mengalami penurunan seiring dengan semakin banyaknya gliserol yang ditambahkan. Penurunan ini berhubungan dengan adanya ruang kosong yang terjadi karena ikatan antar polisakarida diputus oleh gliserol (Intan dan Wan Aizan; 2011). Hal ini menyebabkan ikatan antar molekul dalam film plastik tersebut semakin melemah. Kenaikan penambahan konsentrasi *plasticizer* yang menyebabkan semakin berkurangnya nilai kuat tarik, sesuai dengan semakin berkurangnya interaksi intermolekular (Bourtoom; 2008). Interaksi ini berkurang karena adanya gliserol yang menyisip dan menghilangkan ikatan hidrogen di antara molekul polisakarida. Penurunan hasil kuat tarik disebabkan pula oleh distribusi tidak sempurna dari masing-masing komponen penyusun film plastik (Buzarovska, dkk.; 2008).

Namun hal tersebut tidak terjadi pada hasil kuat tarik dan persen elongasi dengan pelarut pentanol. Kuat tarik terbaik pada pembuatan plastik dengan pelarut pentanol dihasilkan pada formulasi gliserol 25%, kemudian menurun lagi pada penambahan gliserol 30%. Hasil ini didapatkan karena pentanol selain sebagai pelarut, ternyata juga berfungsi sebagai *plasticizer*. Pada konsentrasi gliserol 20%, interaksi antara pentanol dengan gliserol belum maksimal sehingga berpengaruh pada kekuatan tariknya. Pada konsentrasi gliserol 25%, interaksi antara pentanol dan gliserol semakin banyak, dengan membentuk ikatan hidrogen yang cukup kuat untuk menahan beban saat diujikan kuat tariknya. Kemudian pada konsentrasi gliserol 30%, gliserol dalam larutan mengalami *excess* atau berlebihan sehingga malah memutus ikatan hidrogen dan memperlemah struktur kimia plastik.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 terlihat, bahwa pada pelarut pentanol terjadi kenaikan nilai kuat tarik dan persen elongasi pada konsentrasi gliserol 25%, kemudian menurun lagi pada konsentrasi gliserol 30%. Penyimpangan ini terjadi kemungkinan karena penurunan pergerakan rantai makromolekul sebagai akibat kehadiran ikatan hidrogen intermolekul yang kuat, seiring dengan pencampuran antar makromolekul dari komponen campuran. Gliserol mempunyai dua gugus OH yang digunakan untuk berinteraksi dengan molekul pati dan tersisa satu gugus OH yang akan berinteraksi dengan gugus OH dari

pentanol membentuk ikatan hidrogen yang baru. Pada konsentrasi gliserol 20%, ikatan hidrogen yang terbentuk antara gliserol dan pentanol belum sebanyak ikatan hidrogen pada konsentrasi gliserol 25%. Hal ini mengakibatkan kenaikan kuat tarik dari 48,67 MPa pada konsentrasi gliserol 20% menjadi 56,71 MPa pada konsentrasi gliserol 25%. Penurunan kuat tarik pada konsentrasi gliserol 30% dengan nilai kuat tarik sebesar 23,84 MPa disebabkan oleh gugus OH dari gliserol yang berlebihan sehingga menyebabkan ikatan hidrogen yang terbentuk menjadi putus karena disisipi molekul gliserol, dengan mekanisme yang sama yang terjadi pada ikatan hidrogen intermolekul pati.

Yang, dkk (2006) mengemukakan, bahwa alasan peningkatan perpanjangan elongasi kemungkinan disebabkan oleh rantai fleksibel alkana pada molekul gliserol yang menyisip dalam ikatan intermolekul pati menyediakan cukup ruang untuk pergerakan molekul pati.

Perbandingan kuat tarik dan persen elongasi antara pelarut pentanol dengan aquades, ternyata pelarut aquades mempunyai kuat tarik dan persen elongasi yang lebih besar daripada plastik yang menggunakan pelarut pentanol. Pada pelarut aquades, konsentrasi gliserol yang masih kecil menyebabkan ikatan hidrogen antar molekul penyusun plastik belum hilang sepenuhnya sehingga struktur kimia plastik masih padat dan menghasilkan nilai kuat tarik yang baik. Namun pada pelarut pentanol, karena konsentrasi gliserol lebih besar daripada konsentrasi gliserol pada pelarut aquades, maka ikatan hidrogen yang hilang juga lebih banyak. Walaupun kehadiran pentanol turut menyumbangkan ikatan hidrogen, namun ikatan hidrogen yang ada tidak menyaingi ikatan hidrogen yang terdapat pada plastik dengan pelarut aquades. Hasil pengujian ketahanan air pada plastik *biodegradable* biji nangka yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai ketahanan air plastik *biodegradable* biji nangka

Pelarut	Gliserol	% air yang diserap	% ketahanan air
Aquades	20 %	20,98	79,02
	25 %	28,10	71,90
	30 %	29,94	70,06
Pentanol	20 %	38,13	61,87
	25 %	40,90	59,10
	30 %	50,00	50,00

Berdasarkan data pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa jumlah air yang diserap oleh plastik semakin meningkat seiring dengan

meningkatnya jumlah gliserol yang ditambahkan. Intan dan Wan Aizan (2011) menyatakan, bahwa nilai penyerapan air oleh plastik semakin meningkat dengan semakin meningkatnya jumlah gliserol yang ditambahkan. Hal ini menunjukkan bahwa plastik bersifat hidrofilik.

Ketahanan air paling baik dihasilkan oleh plastik dengan konsentrasi gliserol 20%. Kehadiran tiga gugus hidroksil dari molekul gliserol bertanggung jawab atas meningkatnya penyerapan air plastik (Intan dan Wan Aizan; 2011). Gliserol sebagai *plasticizer* memang menambah kelenturan plastik. Namun jumlah ruang kosong (*free volume*) yang semakin bertambah juga seiring dengan bertambahnya gliserol, maka akan meningkatkan celah untuk dapat ditempati oleh molekul-molekul air. Darni dan Herti (2010) menyatakan, bahwa sifat ketahanan air suatu molekul berhubungan dengan sifat dasar molekul penyusunnya. Bahan pati yang digunakan dalam penelitian ini bersifat hidrofilik, yaitu menyukai air. Penambahan gliserol juga menambah sifat hidrofilik plastik yang dibuat, sehingga semakin besar konsentrasi gliserol yang ditambahkan, semakin banyak pula air yang diserap oleh plastik. Pelarut pentanol, dengan sifatnya yang nonpolar dan tidak larut dalam air, namun membuat plastik yang dihasilkan menjadi bersifat hidrofobik karena pentanol memiliki gugus OH yang dapat berikatan hidrogen dengan molekul-molekul air. Hal ini mengakibatkan ketahanan air plastik dengan pelarut aquades lebih besar daripada plastik dengan pelarut pentanol. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat pentanol yang juga dapat berfungsi sebagai *plasticizer* dan memiliki gugus -OH yang dapat berikatan hidrogen dengan air. Pengujian biodegradabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan degradasi plastik yang dihasilkan dalam selang waktu tertentu. Hasil pengujian biodegradabilitas ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kemampuan degradabilitas plastik *biodegradable* biji angka

Pelarut	Gliserol	% kehilangan berat	Degradabilitas	Perkiraan waktu degradasi
Aquades	20%	54 %	7,40 mg/hari	11 hari 2 jam
	25%	57 %	7,82 mg/hari	10 hari 12 jam
	30%	77 %	10,45 mg/hari	7 hari 19 jam
Pentanol	20%	50 %	9,87 mg/hari	12 hari
	25%	91 %	9,76 mg/hari	6 hari 14 jam
	30%	78 %	12,32 mg/hari	7 hari 17 jam

Berdasarkan data pada Tabel 4, diketahui bahwa untuk plastik dengan pelarut aquades, kemampuan biodegradasi plastik semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah gliserol yang ditambahkan. Hal ini berhubungan

dengan kemampuan plastik dalam menyerap air, yaitu semakin banyak kandungan air suatu material, maka semakin mudah material tersebut untuk terdegradasi. Air merupakan media bagi sebagian besar mikroba dan bakteri. Selain karena sifat dari komponen-komponen penyusun yang memang mudah didegradasi secara alami, bantuan dari bakteri dan hewan pengurai seperti cacing tanah juga mampu mempercepat laju degradasi plastik.

Namun berbeda dengan plastik yang menggunakan pelarut aquades, pada plastik yang menggunakan pelarut pentanol, biodegradasi paling cepat justru terjadi pada penambahan 25% gliserol. Pada formulasi ini, interaksi antara masing-masing komponen menyebabkan terbentuknya banyak ruang kosong yang dapat disisipi air dalam jumlah cukup besar. Hal ini mengakibatkan bakteri juga mudah mendegradasi plastik dari dalam plastik.

Penelitian yang dilakukan oleh Behjat, dkk (2009) menunjukkan, bahwa semakin banyak selulosa yang dikandung oleh suatu plastik, maka semakin cepat bagi plastik tersebut untuk terdegradasi. Jadi yang berperan dalam faktor biodegradabilitas suatu plastik adalah selulosanya. Shakina, dkk (2012) yang juga meneliti mengenai kemampuan degradasi plastik melalui soil burial test menyimpulkan, bahwa kemampuan degradasi plastik yang disintesis dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis tanah, jenis mikroba, dan kelembaban. Wypich (2003) menyatakan, bahwa dalam uji biodegradabilitas, air harus dapat masuk untuk menetrasi struktur material dan membantu aktivitas biologi (mikroba) pada material tersebut. Hal ini juga dikuatkan melalui penelitian yang dilakukan oleh Khoramnejadian (2011) yang meneliti tentang soil burial test plastik *biodegradable*, bahwa setelah uji biodegradabilitas, plastiknya berlubang yang akan berpengaruh pada *matrix* polimer dan mengakibatkan plastik menjadi rapuh. Gliserol mempunyai kemampuan untuk mengikat kelembaban dari udara, sehingga dalam penelitian ini, plastik yang dihasilkan lebih cepat terdegradasi.

Simpulan

Formulasi terbaik dari bahan-bahan pembuat plastik yang mendekati sifat plastik SNI, yaitu kuat tarik 24,7-302 MPa, elongasi 21-220% dan hidrofobisitas 99%, dihasilkan oleh campuran pati-gliserol 20%. Pelarut yang menghasilkan plastik dengan sifat yang mendekati plastik SNI adalah pelarut aquades.

Campuran pati-aquades-glisierol 20% menghasilkan plastik dengan nilai kuat tarik sebesar 58,83 MPa, elongasi 22,5%, hidrofobisitas 79,02%, dan terdegradasi 54% dalam waktu 6 hari dengan degradabilitas 7,4 mg/hari. Analisis gugus ujung menunjukkan adanya gugus ester dan karboksil yang menandakan, bahwa plastik yang dihasilkan bersifat *biodegradable*.

Daftar Pustaka

- Behjat T., A.R. Russly, C.A. Luqman, A.Y. Yus dan I. Nor Azowa. 2009. Effect of PEG on the biodegradability studies of Kenaf cellulose-polyethylene composites. *International Food Research Journal*. 16: 243-247
- Borghei, M, A. Karbassi, S. Khoramnejadian, A. Oromiehie dan A.H. Javid. 2010. Microbial Biodegradable Potato Starch Based Low Density Polyethylene. *African Journal of Biotechnology*. 9 (26): 4075-4080
- Bourtoom, T. 2008. Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. *Songklanakarin Journal of Science and Technol.* 30 (1): 149-165
- Buzarovska A, Bogoeva-Gaceva G, Grozdanov A, Avella M, Gentile G, dan Errico M. 2008. Potential use of rice straw as filler in eco-composite materials. *Australian Journal of Crop Science*. 1 (2): 37-42
- Darni Y. dan H. Utami. 2010. Studi Pembuatan dan Karakteristik Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas Bioplastik dari Pati Sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 7 (4): 88-93
- Darni Y., Herti U. dan Siti N.A. 2009. *Peningkatan Hidrofobisitas dan Sifat Fisik Plastik Biodegradabel Pati Tapioka Dengan Penambahan Selulosa Residu Rumpun Laut Euchema spinosum*. Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Lampung: Universitas Lampung
- Huda, T., dan F. Firdaus. 2007. Karakteristik Fisikokimiawi Film Plastik *Biodegradable* dari Komposit Pati Singkong-Ubi Jalar. *Jurnal Penelitian dan Sains "Logika"*. 4 (2): 3-10
- Intan, D.H. dan Wan Aizan W.A.R. 2011. Tensile and Water Absorbtion of Biodegradable Composites Derived from Cassava Skin/Polyvinyl Alcohol with Glycerol as Plasticizer. *Sains Malaysiana*. 40 (7):713-718
- Khoramnejadian, S. 2011. Converting Non-Biodegradable Plastic To Biodegradable By Using Natural Polymer To Help Environment Conservation. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 9 (2): 477-479
- Kruiskamp, PH, ALM Smits, JJG van Soest dan JFG Vliegthart. 2001. The Influence of Plasticizer on Molecular Organisation in Dry Amylopectin Measured by Differential Scanning Calorimetry and Solid State Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Journal of Industrial Micro-biology and Biotechnology*. 26 :90-93
- Kumar, A.A., Karthick K. dan K.P. Arumugam. 2011. Biodegradable Polymers and Its Applications. *International Journal of Bioscience, Biochemistry, and Bioinformatics*. 1 (3): 173-176
- Kurniawan, E. 2010. *Pengelolaan Sampah di Indonesia*. *Indonesia Environmental Consultant 21 April*. Online. Tersedia di www.iec.co.id [diakses 12 Februari 2012].
- Sanjaya, I Gede M.H. dan T. Puspita. 2009. Pengaruh Penambahan Kitosan dan Plasticizer Gliserol Pada Karakteristik Plastik Biodegradable Dari Pati Limbah Kulit Singkong. *Jurnal FTI-ITS*
- Seigel, E., and L. Barrow. 2007. *Biodegradable Plastics*. Online. Artikel diunduh tanggal 8 Februari 2012
- Shakina J., Sathiya L.K. dan Allen G.R.G. 2012. Microbial Degradation of Synthetic Polyesters from Renewable Resources. *Indian Journal of Science*. 1 (1): 21-28
- Sharma, Kiran, Vijender Singh dan Alka Arora. 2011. Natural Biodegradable Polymers as Matrices In Transdermal Drug Delivery. *International Journal of Drug Development & Research*. 3 (2): 85-103
- Thakor, N., U. Trivedi dan K.C. Pattel. 2005. Microbiological And Biotechnological Aspects Of Biodegradable Plastics: Poly(Hydroxyalkanoates). *Indian Journal of Biotechnology*. 5 (4): 137-147
- Wypich, G. 2003. *Platicizers Use And Selection For Specific Polymers*. Toronto: ChemTec Laboratories
- Yang, J.H., Jiu G.Yu dan X.F. Ma. 2006. A Novel Plasticizer for The Preparation of Thermoplastic Starch. *Chinese Chemical Letters*. 17(1): 133-136