

PEMBUATAN DAN PENCIRIAN POLIPADUAN POLISTIREN-PATI

Tetty Kemala, M. Syaeful Fahmi, dan Suminar S. Achmadi

Departemen Kimia, FMIPA - IPB

Kampus IPB Darmaga, Gedung Fakultas Peternakan, Bogor-16680

E-mail : tetty.kemala@yahoo.com

ABSTRAK

PEMBUATAN DAN PENCIRIAN POLIPADUAN POLISTIREN-PATI. Polistiren berbentuk gabus merupakan polimer yang banyak digunakan namun sulit terdegradasi. Oleh karena itu, pada percobaan ini dikembangkan polipaduan polistiren-pati, untuk mendapatkan polimer yang mudah terdegradasi. Pengaruh tambahan gliserol sebagai pemlastis juga diamati melalui analisis mekanik dan termal. Polipaduan polistiren-pati dihasilkan dengan mencampurkan larutan polistiren dan larutan pati dengan perbandingan komposisi berat(%) 60:40, 65:35, 70:30, 75:25 dan 80:20. Sebanyak 20% poli(asam laktat) ditambahkan sebagai bahan pengkompatibel. Sifat polipaduan dianalisis dengan pengujian kuat tarik, berat jenis dan sifat termal. Polipaduan polistiren-pati yang dihasilkan berwarna putih keruh dan rapuh. Kuat tarik dan berat jenis polipaduan berada pada kisaran kuat tarik dan berat jenis polistiren. Kuat tarik dan berat jenis meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi polistiren dengan komposisi polistiren-pati terbaik 80:20. Puncak suhu transisi gelas dan titik leleh yang tunggal terlihat pada komposisi polistiren-pati 80:20. Pengaruh tambahan gliserol tidak teramati pada sifat termal, serta sedikit menyebabkan penurunan kuat tarik dan berat jenis.

Kata kunci : Polistiren, Pati, Polipaduan, Sifat mekanik, Sifat termal

ABSTRACT

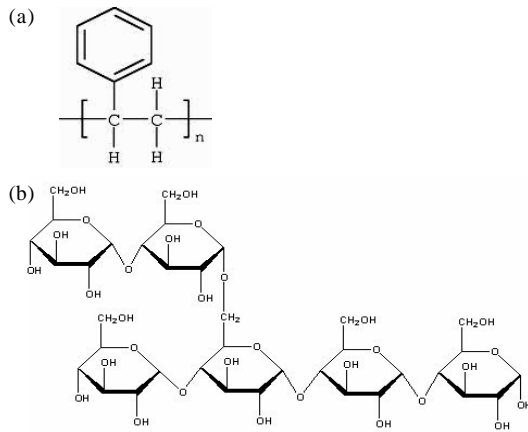
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLYSTYRENE-STARCH POLYBLEND. Polystyrene foam (PS) is a polymer that is widely used but not biodegradable. Therefore, PS-starch polyblend was developed. In this research the effect of glycerol as plasticizer was evaluated based on mechanical and thermal analyses. PS-starch polyblends were produced by mixing PS and starch solution with composition ratios of 60:40, 65:35, 70:30, 75:25, and 80:20 percent by weight. Polylactic acid (20%) was added as compatibilizer. The polyblends were analyzed its tensile strength, thermal properties, and density. The PS-starch polyblends were white opaque in color and fragile. The properties of tensile strength and density of the polyblends were in the range of that of pure PS. The tensile strength and density increases as PS constituents increasing with the best composition ratio of 80 PS to 20 of starch. Peak of glass transition and melting point seen a single on composition ration 80 PS to 20 of starch. Additional amount of glycerol did not affect the thermal property, but has caused a slight decrease in tensile strength and density.

Key words : Polystyrene, Starch, Polyblend, Mechanical properties, Thermal properties

PENDAHULUAN

Maraknya penggunaan gabus berbahan polistiren (PS) saat ini mengakibatkan perlu ada upaya untuk menjadikannya biodegradabel. Oleh karena itu, mulai banyak dikembangkan produk polimer biodegradabel, salah satunya adalah dengan membuat polipaduan berbasis pati. Telah banyak penelitian yang melaporkan pembuatan polipaduan pati, diantaranya dengan polipropilen [1], polietilen [2], monmorilonit [3] dan PS melalui teknik polimerisasi suspensi [4]. Polipaduan PS-pati yang mampu terbiodegradasi telah dirintis [5]. Gambar 1 menunjukkan struktur monomer PS dan pati.

Perbedaan sifat PS (hidrofobik) dengan pati (hidrofilik) memerlukan bahan pengkompatibel agar dihasilkan polipaduan yang homogen. Bahan pengkompatibel yang dapat digunakan adalah asam akrilat, anhidrida maleat, dan vinil alkohol [6]. Bahan pengkompatibel lain yang juga dapat digunakan adalah poli(asam laktat) dengan tambahan optimum sebesar 20%b/b [5]. Selain itu, bahan pemlastis juga sering ditambahkan pada pembuatan polipaduan agar dihasilkan produk yang homogen dan memiliki sifat mekanik yang baik. Bahan pemlastis yang dapat digunakan antara lain air, gliserol, dan sorbitol [7].



Gambar 1. Struktur (a) unit ulang PS dan (b) pati.

Percobaan ini bertujuan membuat polipaduan polistiren-pati yang bersifat kompatibel dan memiliki sifat termal dan mekanik yang baik. Dengan adanya polipaduan polistiren-pati diharapkan polipaduan ini dapat menggantikan gabus berbasis polistiren yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah gabus berbasis polistiren sebagai wadah makanan (komersial), pati singkong, dan poli(asam laktat) (Toyota, M_w 60.000).

Alat-alat analisis yang digunakan adalah viskometer Ostwald, piknometer, alat uji kuat tarik Torse PA-104-30, dan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) Perkin Elmer.

Penentuan Berat Molekul Polistiren

Penentuan bobot molekul PS dilakukan dengan metode viskometri seperti yang dilaporkan [8]. Dibuat larutan gabus PS dalam toluen dengan variasi konsentrasi 0,1 % b/v, 0,2 % b/v, 0,3 % b/v dan 0,4 % b/v. Kemudian dilakukan pengukuran waktu alir pelarut murni (t_0), yaitu toluena dan setiap konsentrasi larutan polimer menggunakan viskometer Ostwald, hingga diperoleh t_0 , t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4 . Selanjutnya nilai viskositas spesifik (η_{sp}) dihitung dan dibuat kurva hubungan viskositas tereduksi (η_{sp}/C) dengan konsentrasi (C). Kemudian grafik tersebut diekstrapolasi ke konsentrasi nol sehingga diperoleh viskositas intrinsik (η). Bobot molekul diperoleh melalui Persamaan 1 yang dikemukakan oleh Mark-Houwink-Sakurada [9]:

$$[\eta] = KM_v^a \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- η = Viskositas intrinsik
- K = Tetapan $11 \times 10^{-5}(\text{mL/g})$

$$a = 0,725$$

M_v = Massa molekul relatif

Preparasi Polipaduan Polistiren-Pati

Polipaduan PS pati dibuat melalui modifikasi metode yang telah dikembangkan [10]. PS dipotong-potong dengan ukuran 2 cm², dilarutkan dalam diklorometana, dan diaduk hingga homogen dengan pengaduk magnet sehingga dihasilkan larutan PS. Pati yang telah dikeringkan di dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam sampai kadar airnya tetap dilarutkan dalam diklorometan kemudian diaduk hingga homogen dengan pengaduk magnet. Ke dalam larutan pati ditambahkan sebanyak 2 gram (20% b/v) poli(asam laktat) dan pengadukan dilanjutkan hingga homogen. Berat PS dan pati divariasikan berdasarkan komposisi PS:pati (Tabel 1). Setelah larutan PS dan pati poli(asam laktat) homogen, keduanya dicampurkan dan diaduk dengan laju pengadukan 300 rpm selama 3 jam. Dibuat ragam perlakuan pada saat pencampuran, yaitu dengan tambahan gliserol dan tanpa tambahan gliserol.

Setelah diaduk selama 3 jam campuran polipaduan dicetak di atas pelat kaca kemudian dikeringudarkan selama 10 menit. Tambahan poli(asam laktat) (20 %) dan gliserol (5 %) akan mengurangi komposisi PS dan pati secara merata. Film yang dihasilkan dipindahkan untuk dianalisis berat jenis, sifat mekanik dan sifat termalnya.

Analisis Kuat Tarik (TAPPI T404-CM-92)

Analisis mengacu pada *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI) No. T404. Film yang akan dianalisis dipotong dengan ukuran panjang 18 cm dan lebar 1 cm. Kemudian spesimen dijepitkan pada alat uji tarik universal dan ditarik dengan kecepatan konstan dan beban maksimum 5 kgf. Dari nilai yang diperoleh dapat ditentukan besarnya kuat tarik dan prosentase perpanjangan dengan menggunakan Persamaan 2 dan Persamaan 3.

Tabel 1. Formulasi pembuatan polipaduan

Komposisi Gabus PS:Pati (%)	Bobot sampel (g)		Bobot gliserol (g)
	Gabus PS	Pati	
60:40	5,00	3,00	-
65:35	5,50	2,50	-
70:30	6,00	2,00	-
75:25	6,50	1,50	-
80:20	7,00	1,00	-
60:40	4,75	2,75	0,50
65:35	5,25	2,25	0,50
70:30	5,75	1,75	0,50
75:25	6,25	1,25	0,50
80:20	2,75	0,75	0,50

$$\tau = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- τ = Kuat tarik (MPa)
- F_{maks} = Tegangan maksimum (N)
- A = Luas penampang lintang (mm²)

$$\%E = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- $\%E$ = Perpanjangan (%)
- ΔL = Pertambahan panjang spesimen (mm)
- L = Panjang spesimen awal (mm)

Analisis Sifat Termal

Sifat termal dianalisis dengan alat DSC. Sampel ditempatkan di atas wadah yang terbuat dari kuarsa yang terletak di dalam tungku pemanas (*furnace*) pada alat DSC. Pengukuran dilakukan kisaran suhu 50 °C hingga 200 °C dengan kecepatan 20 °C/menit. Data yang dihasilkan dalam bentuk termogram.

Penentuan Berat Jenis

Analisis dilakukan dengan menggunakan piknometer dengan metode penentuan berat jenis padatan [11]. Sampel dipotong dengan ukuran yang seragam, kemudian dimasukkan ke dalam piknometer yang telah diketahui berat kosongnya (W_0). Berat piknometer dan sampel dicatat sebagai W_1 . Ke dalam piknometer yang berisi potongan sampel ditambahkan *aquadest* hingga tidak terdapat gelembung udara, kemudian ditimbang beratnya (W_2).

Berat piknometer berisi air juga ditimbang dan beratnya dicatat sebagai W_3 . Suhu air dan suhu udara dicatat untuk menentukan faktor koreksi suhu. Berat jenis sampel dihitung menggunakan Persamaan 4:

$$D = \left[\frac{W_1 - W_0}{(W_3 - W_0) - (W_2 - W_1)} \right] \times [D_l - D_a] + D_a \dots\dots (4)$$

dimana :

- D = Bobot jenis sampel (g/mL)
- D_l = Bobot jenis air (g/mL)
- D_a = Bobot jenis udara (g/mL)

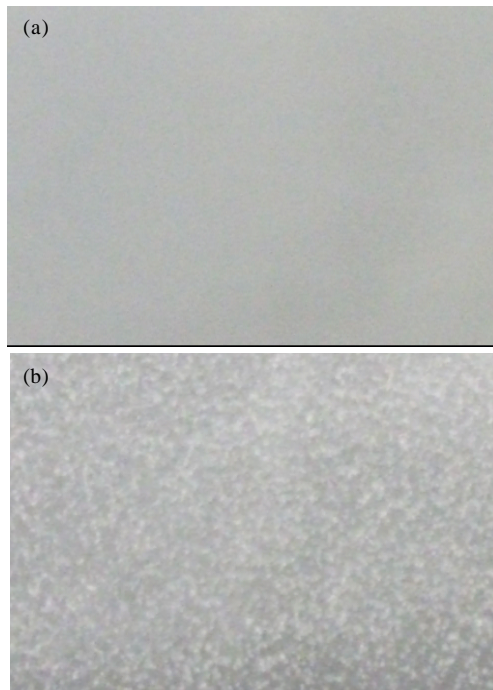
HASIL DAN PEMBAHASAN

Polipaduan Polistiren-Pati

Berat molekul relatif (M_v) sampel PS (Gambar 2) yang ditentukan dengan viskometer Ostwald menghasilkan M_v sebesar 4461 g/mol. Hasil pembuatan film polipaduan menunjukkan ciri film yang berwarna putih keruh dan cukup rapuh. Tidak ada perbedaan yang



Gambar 2. Gabus polistirena

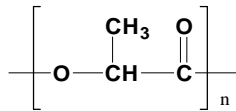


Gambar 3. Lembaran film polipaduan PS-pati dengan komposisi 80:20, (a) tanpa pemlastis dan (b) dengan pemlastis.

mencolok pada warna film yang dihasilkan pada setiap perlakuan. Hasil foto dengan menggunakan kamera digital ditunjukkan pada Gambar 3.

Selain itu, dapat diamati bahwa dengan tambahan gliserol sebagai pemlastis terbentuk granula-granula kecil berwarna putih yang muncul sesaat setelah tambahan gliserol, sehingga film yang dihasilkan tanpa tambahan gliserol tampak lebih homogen. Tambahan gliserol secara fisik mengurangi kerapuhan film yang dihasilkan.

Film polipaduan PS-pati yang dihasilkan berwarna keruh tetapi tampak homogen. Film dikatakan homogen jika tidak terlihat lagi perbedaan antara komponen-komponen penyusunnya, baik dalam bentuk, ukuran, maupun warna karena semua komponennya telah tercampur secara merata [12]. Hal ini menunjukkan bahwa poli(asam laktat) yang ditambahkan ke dalam campuran pati mampu menjadi bahan pengkompatibel antara PS dan pati.



Gambar 4. Struktur kimia poli (asam laktat).

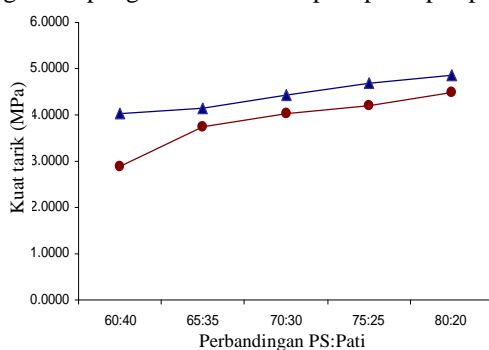
PS secara alamiah memiliki sifat nonpolar dan hidrofobik mampu bercampur dengan pati yang bersifat hidrofilik melalui bantuan poli(asam laktat) sebagai bahan pengkompatibel. Poli(asam laktat) merupakan suatu polimer yang memiliki struktur dengan gugus hidrofilik maupun hidrofobik (Gambar 4). Dengan demikian, poli(asam laktat) mampu mengatasi perbedaan sifat antara gabus PS dan pati melalui interaksi secara fisik [5].

Film polipaduan yang dihasilkan bersifat rapuh. Hal ini dapat disebabkan oleh rendahnya bobot molekul bahan baku PS yang digunakan. Berat molekul rerata PS yang digunakan pada percobaan ini adalah 4461 g/mol. Secara umum berat molekul sangat berpengaruh pada kekuatan mekanik suatu polimer [13]. Polimer dengan berat molekul yang rendah akan memiliki kekuatan mekanik yang rendah. Dengan demikian, pemanfaatan polipaduan PS-pati kurang cocok untuk dijadikan sebagai produk berupa lembaran, melainkan produk yang memiliki ketebalan yang cukup untuk menutupi sifatnya yang rapuh.

Sifat Kuat Tarik

Uji tarik suatu bahan dapat memberikan informasi mengenai sifat mekanik bahan seperti kuat tarik dan perpanjangan putus. Hasil pengukuran kuat tarik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tarik dengan meningkatnya perbandingan PS. Pengaruh tambahan pemlastis juga terlihat menurunkan kuat tarik polipaduan PS-pati (Gambar 5). Namun, prosentase perpanjangan putus menunjukkan hasil yang sama, yaitu 5,56 % untuk semua perlakuan.

Berdasarkan hasil analisis kuat tarik, peningkatan nilai kuat tarik terjadi seiring dengan meningkatnya perbandingan PS. Tambahan pati menyebabkan polipaduan semakin rapuh dan memiliki kuat tarik yang rendah. Hal ini juga sesuai dengan laporan [6,14] yang mengamati pengaruh tambahan pati pada polipaduan



Gambar 5. Grafik kuat tarik : (▲) tanpa pemlastis, (●) dengan pemlastis

PS-pati. Penurunan kuat tarik disebabkan oleh amilopektin yang ada di dalam pati. Amilopektin adalah komponen penyusun pati yang memiliki struktur bercabang dan tidak teratur sehingga bersifat amorf. Semakin besar perbandingan pati dalam polipaduan maka semakin meningkat sifat amorf pada polipaduan tersebut.

Kuat tarik polipaduan yang dihasilkan berada pada kisaran 4,0 MPa hingga 4,8 MPa (tanpa pemlastis) dan 2,9 MPa hingga 4,5 MPa (dengan pemlastis). Hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan kuat tarik PS yang berada pada kisaran 2,1 MPa hingga 9,1 MPa dan memiliki prosentase perpanjangan putus sebesar 2 % hingga 8 % [15]. Besarnya kuat tarik dipengaruhi oleh berat molekul dan jenis polistirena yang digunakan. Polistirena yang tidak berbentuk gabus dapat memiliki kuat tarik hingga 30 MPa [16].

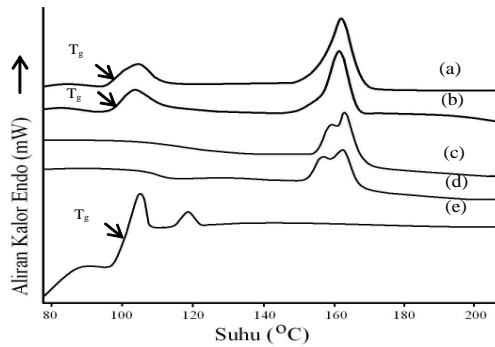
Faktor lain yang juga dapat menyebabkan penurunan kuat tarik polipaduan ini adalah jenis interaksi yang terjadi. Interaksi yang terjadi pada polipaduan PS-pati adalah interaksi secara fisik [5]. Dengan demikian, interaksi yang hanya terjadi secara fisik dari dua bahan yang memiliki sifat yang berbeda menyebabkan semakin lemahnya interaksi yang terjadi.

Uji kuat tarik juga bertujuan mengevaluasi pengaruh tambahan gliserol pada campuran polipaduan PS-pati. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa tambahan gliserol berpengaruh pada penurunan kuat tarik. Nilai kuat tarik produk dengan tambahan gliserol masih berada pada kisaran kuat tarik PS. Hasil ini sesuai dengan prinsip kerja gliserol yang berfungsi sebagai bahan pemlastis. Tambahan pemlastis menyebabkan gaya kohesi antar-rantai akan berkurang dan akan menurunkan kuat tarik [11].

Sifat Termal

Hasil pencirian dengan menggunakan alat DSC pada sampel dengan perbandingan PS-pati 60:40 dan 80:20 (dengan tambahan pemlastis dan tanpa tambahan pemlastis) ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan termogram DSC yang dihasilkan, diperoleh suhu transisi kaca (T_g) film 100% PS adalah 100,15 °C. Polipaduan dengan perbandingan PS-pati sebesar 60:40 tidak menunjukkan T_g di daerah PS. Pada perbandingan tersebut hanya teramati puncak pelelehan polipaduan pada suhu 162 °C hingga 165 °C. Polipaduan dengan perbandingan PS-pati sebesar 80:20 menunjukkan T_g pada 97,49 °C (dengan pemlastis) dan 97,19 °C (tanpa pemlastis). Puncak pelelehan polipaduan teramati pada kisaran suhu yang sama dengan PS.

Analisis sifat termal pada polipaduan PS-pati menunjukkan puncak pelelehan polipaduan pada kisaran 162 °C hingga 165 °C. Hal ini menunjukkan bahwa polipaduan yang terbentuk telah homogen. Hal ini didukung oleh suhu pelelehan yang lebih tinggi dari suhu pelelehan pati, yaitu 160 °C dan lebih rendah dari suhu pelelehan PS, yaitu 200 °C [16].



Gambar 6. Termogram DSC pada perbandingan PS:pati (a) 80:20 dengan pemlastis, (b) 80:20 tanpa pemlastis, (c) 60:40 dengan pemlastis, (d) 60:40 tanpa pemlastis, dan (e) 100% PS.

Pola puncak pelelehan lain juga teramati pada polipaduan dengan perbandingan PS-pati sebesar 60:40. Puncak pelelehan teramati memiliki dua puncak yang tergabung. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya perbandingan pati sehingga muncul dua puncak pelelehan yang saling berimpit.

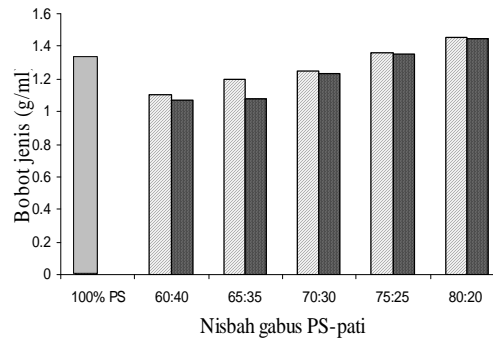
Polipaduan dengan komposisi PS yang besar (80%) teramati memiliki T_g pada kisaran 97,0 °C hingga 97,5 °C. Nilai T_g tersebut berada pada kisaran T_g PS. Sampel dengan 100 % PS teramati memiliki T_g sebesar 100,15 °C. Nilai T_g yang sedikit lebih rendah tersebut dapat disebabkan oleh adanya pati (20 % berat) pada polipaduan. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya [17] yang menyatakan bahwa kandungan pati pada polipaduan PS-pati dapat menurunkan T_g. Meningkatnya komposisi PS pada polipaduan menyebabkan teramatinya T_g polipaduan pada kisaran T_g dari PS.

Pengaruh pemlastis pada penurunan T_g tidak teramati. Pemlastis dapat menurunkan interaksi antar molekul pada rantai polimer sehingga derajat kebebasan rantai polimer meningkat dan entropi sistem bertambah [11]. Oleh karena itu, polimer akan lebih mudah mengalami perubahan dari keadaan rigid ke keadaan fleksibel dan nilai T_g menurun. Dengan demikian, tidak terjadi perubahan sifat termal yang berarti pada polipaduan PS-pati dibandingkan dengan PS.

Berat Jenis

Pencirian berat jenis pada produk polipaduan yang dihasilkan menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan berat jenis dengan meningkatnya komposisi PS. Selain itu, dapat diamati pula bahwa tambahan gliserol sedikit menurunkan berat jenis polipaduan yang dihasilkan. Berat jenis polipaduan berkisar pada 1,0728 g/mL hingga 1,4555 g/mL. Gambar 7 menunjukkan pola peningkatan berat jenis polipaduan PS-pati.

Peningkatan berat jenis terjadi dengan meningkatnya komposisi PS. Peningkatan berat jenis polipaduan juga terjadi seiring dengan peningkatan kuat tarik. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya [11]



Gambar 7. Berat jenis (□) PS 100%, polipaduan PS-pati (▨) tanpa pemlastis, (■) dengan pemlastis.

yang melaporkan bahwa berat jenis suatu polimer akan meningkat apabila kuat tarik, kekerasan, dan kekakuannya meningkat.

Berat jenis polipaduan berada pada kisaran berat jenis PS, yaitu 1,0728 g/mL hingga 1,4555 g/mL. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa berat jenis PS sebesar 1,1 g/mL [16]. Berat jenis polipaduan meningkat seiring dengan peningkatan kandungan PS. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya keteraturan molekul dalam polipaduan dengan meningkatnya kandungan PS. Peningkatan berat jenis ini dapat disebabkan oleh dominasi PS yang bersifat linier sehingga penyusunan molekul dalam polipaduan yang dihasilkan menjadi teratur. Selain itu, tambahan pati yang memiliki komponen amilopektin juga menyebabkan turunnya keteraturan molekul polipaduan. Oleh karena itu, peningkatan nisbah pati menyebabkan turunnya berat jenis polipaduan.

Pengaruh pemlastis juga dapat diamati dengan mengukur perubahan berat jenis pada polipaduan yang dihasilkan. Dengan tambahan pemlastis, maka keteraturan molekul di dalam polipaduan akan menurun sehingga berat jenis polipaduan juga akan menurun. Hal ini ditunjukkan dengan hasil yang diperoleh bahwa terjadi penurunan berat jenis dengan tambahan pemlastis (Gambar 7). Berat jenis tidak menurun secara signifikan akibat tambahan gliserol. Dengan demikian, penggunaan polipaduan PS-pati dapat digunakan sebagai bahan pembentuk gabus. Perbedaan kepolaran diduga menjadi faktor penyebab gliserol tidak menurunkan berat jenis secara signifikan pada polipaduan PS-pati. Hal ini juga didukung oleh terbentuknya granula-granula yang terbentuk pada polipaduan dengan tambahan gliserol.

KESIMPULAN

Polipaduan PS-pati berhasil dibuat dengan tambahan 20% poli(asam laktat) sebagai bahan pengkompatibel. Kuat tarik polipaduan berada pada kisaran kuat tarik PS sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembentuk gabus. Komposisi PS-pati sebesar 80:20 memiliki kuat tarik paling baik. Analisis sifat termal menunjukkan polipaduan yang dihasilkan telah

homogen. Tambahkan gliserol sebagai pemlastis sedikit menurunkan kuat tarik dan berat jenis polipaduan tetapi tidak mengubah sifat termal.

DAFTAR ACUAN

- [1]. C.H. AZHARI and S.F. WONG, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **4** (2001) 693-695
- [2]. B. RAJ, U. SANKAR K. and SIDDARAMAIAH, *Adv Polym Tech.*, **23** (2004) 32-45
- [3]. P. KAMPEERAPPUN, D. AHT-ONG, D. PENTRAKON and K. SRIKULKIT, *Carbohydrate Polym.*, **67** (2007) 155-164
- [4]. K. KAEWTATIP and V. TANRATTANAKUL, *Carbohydrate Polym.*, **73** (2008) 647-655
- [5]. B.A.S. SIREGAR, Pencirian dan Biodegradasi Polipaduan (Styrofoam-Pati) dengan Poli(asam laktat) sebagai Bahan Biokompatibel, *Skripsi FMIPA-IPB*, (2009)
- [6]. W. SHUJUN, Y. JIUGAO and Y. JINGLIN, *Polymer Degradation and Stability*, **87** (2005) 395-401
- [7]. D. SCHLEMMER, E.R. OLIVEIRA and M.J.A. SALES, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **87** (2007) 635-638.
- [8]. M. CHANDA and S.K. ROY, *Plastics, Fundamentals, Properties, dan Testing*, CRC Press, Florida, (2009)
- [9]. H.H. CHUAH, D. LIN-VIEN and U. SONI, *Polymer*, **42** (2001) 7137-7139
- [10]. N. FELANI, Sifat Mekanis Polipaduan Polistirena-Pati Menggunakan Zat Pemlastis Epoksida Minyak Jarak Pagar, *Skripsi FMIPA-IPB*, (2010)
- [11]. T. KEMALA, Pengaruh Zat Pemlastis Dibutil Ftalat pada Polyblend Polistirena-Pati, *Tesis Pascasarjana-ITB*, (1998)
- [12]. A. ROSIDA, Pencirian Polipaduan Poli(asam laktat) dengan Polikaprolakton, *Skripsi FMIPA-IPB*, (2007)
- [13]. C.E. CARRAHER, *Polymer Chemistry: An Introduction*, 4th Edition, Marcel Dekker, New York, (2003)
- [14]. R. NAWANG, I.D. DANJAJI, U.S. ISHIAKU, H. ISMAIL and Z.A.M. ISHAK, *Polymer Testing*, **20** (2001) 167-172.
- [15]. J. AGRANOFF, *Guide to Plastics: Property and Specification Charts*, McGraw Hill, New York, (1977)
- [16]. J.E. MARK JE, *Polymer Data Handbook*, Oxford University, New York, (1999)
- [17]. T.A.P.F. PIMENTEL, J.A. DURÃES, A.L. DRUMMOND, D. SCHLEMMER, R. FALCÃO and M.J.A. SALES, *Journal of Material Sciences*, **42** (2007) 7530-7536