

SIMPOSIUM NASIONAL

STPI VI 2007

prosiding

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
Ruang Seminar Pasca Sarjana UMS, 13 Desember 2007

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MENUJU KEMANDIRIAN BANGSA



FUTURARC
NEW ARCHITECTURE



**UNIT
LAYANAN INDUSTRI**
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Laboratorium Teknik Mesin - FT UMS

PIM GROUP
Research, Planner, Architect

**SUSUNAN PANITIA
SIMPOSIUM NASIONAL
REKAYASA APLIKASI PERANCANGAN DAN INDUSTRI
(RAPI) VI 2007**

**Penanggung Jawab
Panitia Pengarah**

Ir. H. Sri Widodo, MT.
1. Ir. Subroto, M.T.
2. Ir. H. Aliem Sudjarmiko, MT.
3. Drs. Sudjalwo, MKom.

**Panitia Pelaksana
Ketua**

Ir Agung Setyo Darmawan, MT.

Sekretaris

1. Farida Nur Cahyani, ST, MSc.
2. Eko Setiawan, ST, MT.
3. Ashar M. Akbar

Bendahara/Dana

1. Suryaning Setyowati, ST., MT.
2. Indah Pratiwi, ST, MT.

**Seksi-seksi
Publikasi**

1. Ir Dhani Mutiari, MT.
2. Heru Supriyono, ST, MSc.

Acara, dekorasi & dokumentasi

1. Ir Indrawati, MT.
2. Ir Sartono Putro, MT.

Naskah dan Prosiding

1. Denny Vitasari, ST, M.Eng.Sc.
2. Umi Fadlilah, ST.

Reviewer

1. Marwan Effendy, ST., MT.
2. Ir H Haryanto, MS.
3. Ir Jatmiko, MT.
4. Munajat Tri Nugroho, ST., MT.
5. Wisnu Setiawan, ST., M.Arch.
6. Muhammad Ujjianto, ST., MT.

Konsumsi

1. Ir Renaningsih, MT.
2. Siti Nandiroh, ST.

Perlengkapan

1. Anto Budi Listyawan, ST, MSc.
2. Ir. Sri Wiji, MT.

Telah diperiksa kebenarannya dan sesuai dengan aslinya
Declares this translation to correspond to the original

Surabaya, 5 Agustus 2020

Dekan Fakultas Teknik
Dean Faculty of Engineering

Prof. Suryadi Ismadij, IPM., ASEAN Eng.
Mk. 521.93.0198



DAFTAR MAKALAH

JURUSAN TEKNIK ARSITEKTUR

RAPI A-001

TELAAH ARSITEKTUR LOKAL DUSUN KARANGKULON, IMOGIRI

Wisnu Setiawan, Natic Maisiyah A1 – A8

RAPI A-002

TEKTONIKA ARSITEKTUR GEREJA MARIA ASSUMPTA KLATEN
SEBAGAI UNGKAPAN KEBERPIHAKAN PADA POTENSI LOKAL

Ummul Mustaqimah A9–A16

RAPI A-003

KEGIATAN PEMBERDAYAAN MASYARAKAT
DALAM MENGUNGKAP POTENSI LOKAL
PADA PERENCANAAN MASYARAKAT MISKIN PERKOTAAN

Udjianto Pawitro A17–A23

RAPI A-004

TOWN HOUSE, STUDI KASUS : RUMAH CINA DI SURAKARTA

Dhani Mutiari..... A24–A29

RAPI A-005

BLOK TANAH LIAT MATERIAL LOKAL
SEBAGAI BAHAN BANGUNAN DINDING UNTUK BANGUNAN SEDERHANA
KASUS BLOK “PORITS” DARI LUMPUR LAPINDO

V. Totok Noerwasito A30–A36

RAPI A-006

DIALEKTIKA ARSITEKTUR DI PERMUKIMAN VERNAKULAR
KASUS: KAMPUNG BATIK LAWEYAN SURAKARTA

Mohamad Muqoffa , Happy Ratna Santosa A37–A50

RAPI A-007

PELIBATAN PERAN MASYARAKAT DALAM PENGEMBANGAN
DAN PENGELOLAAN KAWASAN BUDAYA
DALAM KERANGKA PENGEMBANGAN PARIWISATA BUDAYA

Agus S Sadana A51–A57

RAPI A-008

OPTIMALISASI POTENSI LOKAL UNTUK RENOVASI RUMAH
DENGAN SKALA PRIORITAS MASA PAKAI BAGIAN-BAGIAN BANGUNAN

Widyastuti Nurjayanti A58–A64

RAPI K-007

PENGAMBILAN ASAM LEMAK DALAM MINYAK BIJI KARET DENGAN
HIDROLISIS MULTISTAGE

Dwi Ardiana Setyawardhani, Sperisa DistantinaHary Sulistyo,
Suprihastuti Sri Rahayu K40-K44

RAPI K-008

RANCANG BANGUN BAK ELEKTROPLATING SEBAGAI USAHA
PENANGANAN TERHADAP LINGKUNGAN YANG KOROSIF:
Upaya Peningkatan Kapasitas dan Effisiensi Produksi pada UKM METAL INDAH
ELEKTROPLATING, Semarang, Jawa Tengah

Luqman Buchori, Faleh Setia Budi, Didi Dwi Anggoro K45-K50

RAPI K-009

PEMBUATAN *POLY LACTIC ACID* (PLA) SEBAGAI BAHAN PLASTIK
BIODEGRADABLE DARI KULIT PISANG

Wenny Irawaty, Ery S. Retnoningtyas, Felycia Edi S K51-K56

RAPI K-010

SINTESIS KARBON NANOTUBE DENGAN METODE ALCOHOL CATALYTIC
CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (ACCVd)

Adrian Nur, Paryanto, Arif Jumari, Endah Retno Dyartanti K57-K62

RAPI K-011

PEMURNIAN ETANOL DENGAN SILIKA DARI ABU SEKAM PADI

Adrian Nur, M. Kaavessina, YC. Danarto, Patris Selasih,
Silvia Septiningrum K63-K69

RAPI K-012

PENGARUH LAMA PENYIMPANAN PASTA PADA PEMBUATAN BUBUK
BUAH NANGKA DENGAN METODE FOAM-MAT DRYING

Fadilah, Endah R. Dyartanti, Enny K. Artati,
Dyah Novikasari, Mia Ayuk Ika Santi K70-K75

RAPI K-013

PEMBUATAN BIOETANOLDARI PATI GARUT (*Maranta arundinaceae*)
DENGAN *SACHAROMYCES CEREVICEAE*

Endah RD, Sperisa D, Adrian Nur, Paryanto, Ayu NG Fitriyah R K76-K80

RAPI K-014

KINETIKA REAKSI HIDROLISA ENZIMATIS PATI SORGUM
(*Sorghum bicolor* L.)

TAHAP SAKARIFIKASI KATALIS ENZIM GLUCOAMYLASE
(*Aspergillus Niger*)

Enny K Artati, Endah Retno D, Paryanto, Atmono, Rendra Sipahutar, Senjaning Tyas
Putri K81-K87

PEMBUATAN *POLYLACTIC ACID* (PLA) SEBAGAI BAHAN PLASTIK *BIODEGRADABLE* DARI KULIT PISANG

Wenny Irawaty¹, Ery S. Retnoningtyas², Felycia Edi S.³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Jl. Kalijudan 37 Surabaya 60174 Telp 031 3891264

Email: wenny_i_s@yahoo.com; irawaty@mail.wima.ac.id

Abstrak

Biasanya pengolahan limbah plastik dilakukan dengan mendaur-ulang plastik tersebut, tetapi hanya mencakup sekitar 30-35 % saja. Plastik tersebut tidak bisa ditimbun dan didegradasi oleh mikroorganisme di dalam tanah. Pengembangan alternatif bahan baku utama plastik *biodegradable* merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan ini. Beberapa negara seperti Amerika, Eropa dan Jepang sudah mulai memproduksi dan menggunakan bahan plastik yang bersifat *biodegradable*, salah satu diantaranya adalah *poly lactic acid* (PLA). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu polimerisasi asam laktat yang optimum berdasarkan distribusi berat molekulnya.

Pembuatan PLA diawali dengan fermentasi filtrat bubur kulit pisang pada 35°C selama 18 hari. Kemudian larutan asam laktat yang diperoleh dimurnikan dengan cara dialirkan melalui kolom yang berisi resin. Larutan asam laktat yang sudah murni tersebut dipolimerisasi untuk menghasilkan poli asam laktat (PLA) dengan menggunakan pelarut eter dan katalis timah. Polimerisasi PLA dilakukan pada tekanan rendah 15-30 mmHg, temperatur 130-150°C dan waktu reaksi 24-108 jam.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa PLA yang diperoleh dari penelitian ini mempunyai berat molekul berkisar antara 93.704 sampai 181.805 g/mol dan titik lelehnya berkisar 132°C. Dengan karakteristik PLA seperti tersebut menjanjikan kemungkinan aplikasi lebih lanjut sebagai bahan plastik *biodegradable*. Ditinjau dari distribusi berat molekul PLA yang diperoleh, dapat ditentukan bahwa waktu optimum polimerisasi asam laktat dari kulit pisang ini adalah 60 jam.

Kata kunci: PLA; plastik *biodegradable*; polikondensasi

Pendahuluan

Pengembangan alternatif bahan baku utama plastik *biodegradable* merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan limbah plastik. Industri plastik *biodegradable* akan berkembang menjadi industri besar di masa yang akan datang. Beberapa negara seperti Amerika, Eropa dan Jepang sudah mulai memproduksi dan menggunakan bahan-bahan yang bersifat *biodegradable* untuk menggantikan plastik konvensional.

PLA dibuat dari polimerisasi asam laktat. PLA merupakan termoplastik *biodegradable* yang transparan dan mempunyai titik leleh sekitar 175°C dan mempunyai sifat-sifat mekanik yang baik, yaitu kekuatan tarik dan modulusnya sangat tinggi. Oleh karena itu bidang aplikasi PLA lebih luas dibandingkan poliester *biodegradable* lainnya. PLA dapat digunakan sebagai pembungkus atau pelapis terutama di bidang medis yaitu pada obat berpelepasan lambat (Vu dkk, 2005; Pranamuda, 2001; Datta, 1995). Selain itu juga diaplikasikan untuk membuat botol, cangkir, rak, kantong sampah dan sebagainya (Averous, 2004). Sebuah perusahaan elektronik raksasa telah menggunakan plastik PLA ini sebagai bahan untuk membuat casing dari produk walkman. Aplikasi terbaru dari PLA adalah dalam bidang medis sebagai kulit buatan, *absorbable bone plates for internal bone fixation* dan *tissue scaffolds* (Vu dkk, 2005).

PLA ini merupakan komponen yang paling potensial untuk dikembangkan karena ketersediaan bahan bakunya yang dapat diambil dari sumber-sumber alam terbaru yang melimpah sehingga harga produknya dapat murah. Salah satu contoh industri yang telah memproduksi PLA adalah Cargill-Dow (USA) yang menggunakan bahan baku jagung. Cargill-Dow merupakan produsen poliester *biodegradable* terbesar saat ini. Pada tahun 2004 harga PLA adalah sekitar 3 euro untuk tiap kilogram PLA (Averous, 2004). Seiring dengan perbaikan proses pembuatan PLA, diperkirakan harga PLA pada tahun 2008 akan turun menjadi 1,75 euro untuk tiap kilogram PLA (Bogaert dan Philippe, 2000).

berat molekulnya lebih mudah. Sedangkan kerugiannya adalah tahapan prosesnya cukup rumit sehingga biaya operasinya mahal (Jacobsen dkk, 1999). Pada penelitian ini PLA dibuat dengan cara kondensasi karena prosesnya cukup sederhana.

Bahan dan Metode

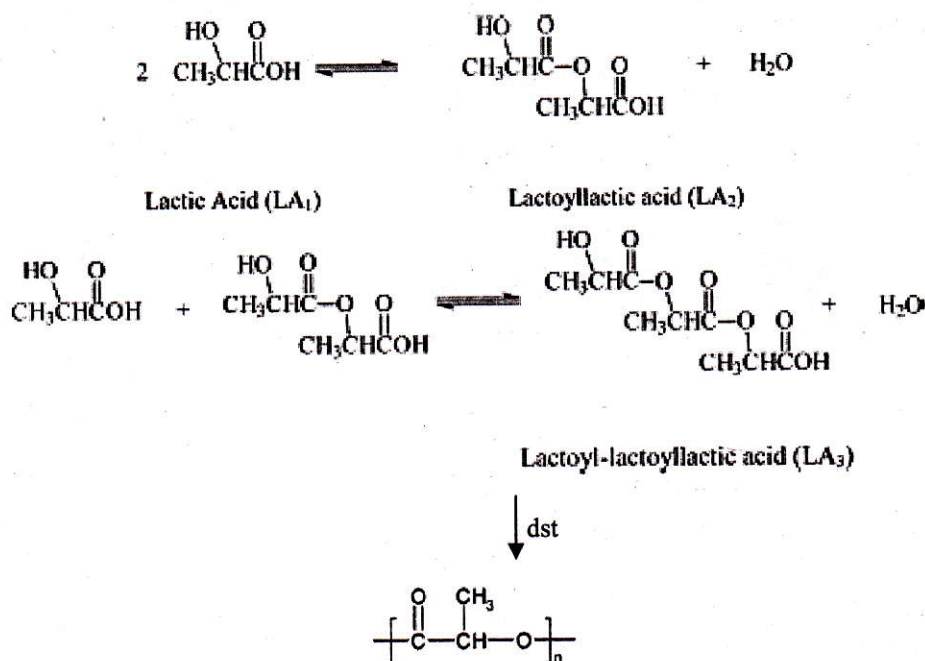
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Pembuatan asam laktat : kulit pisang kepok, *Lactobacillus plantarum*; nutrisi KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, ZnSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan CuSO_4 ; resin Amberlite.
- Polimerisasi asam laktat : timah, eter, molecular sieves, kloroform, metanol

Pada prinsipnya penelitian ini diawali dengan pembuatan asam laktat dari fermentasi filtrat bubur kulit pisang dan dilanjutkan dengan proses pemurnian dan polimerisasi untuk menghasilkan poli asam laktat (PLA) yang akan digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan plastik biodegradabel. Larutan asam laktat diperoleh dari fermentasi filtrat kulit pisang sebelumnya, dimurnikan dengan cara adsorpsi menggunakan resin. Larutan asam laktat encer yang diperoleh dipekatkan dengan cara menguapkan kandungannya dan kemudian dipolimerisasi pada tekanan rendah. Mula-mula ditambahkan 0,18 g bubuk timah dan direaksikan selama 2 jam pada temperatur 150°C dan tekanan 1 inHg. Kemudian ditambahkan 0,83 g bubuk timah dan 140 mL eter ke dalamnya. Destilasi dilanjutkan selama 1 jam pada temperatur 130°C dan tekanan konstan. Dipasang kolom yang berisi molecular sieves ke dalam sistem destilasi di atas, larutan direaksikan pada temperatur 130°C dan tekanan 1 inHg selama 24-108 jam. Setelah selesai, ditambahkan kloroform, disaring dan larutan dituang ke dalam metanol. Endapan yang terbentuk disaring dan dikeringkan dalam oven selama beberapa jam. Dilakukan analisa titik leleh dan berat molekulnya.

Hasil Percobaan dan Pembahasan

Proses polimerisasi merupakan reaksi antara grup fungsional OH dan COOH (Flory, 1967). Salah satu faktor yang mempengaruhi reaksi polimerisasi adalah waktu polimerisasi (Narayanan dkk, 2004). Dengan semakin lamanya waktu polimerisasi, polimer asam laktat yang terbentuk akan semakin banyak (Enomoto, 1994). Reaksi pembentukan polimer asam laktat mengikuti tahapan reaksi seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Tahapan reaksi polimerisasi PLA

Sumber: Vu dkk, 2005

Dengan semakin banyaknya polimer asam laktat (poly lactic acid = PLA) yang terbentuk, maka berat molekulnya akan bertambah. Berat molekul PLA yang dihasilkan dari percobaan ini ditentukan melalui hasil pengukuran viskositas intrinsiknya dan dihitung dengan persamaan empiris (Rosen, 1982):

berat molekulnya lebih mudah. Sedangkan kerugiannya adalah tahapan prosesnya cukup rumit sehingga biaya operasinya mahal (Jacobsen dkk, 1999). Pada penelitian ini PLA dibuat dengan cara kondensasi karena prosesnya cukup sederhana.

Bahan dan Metode

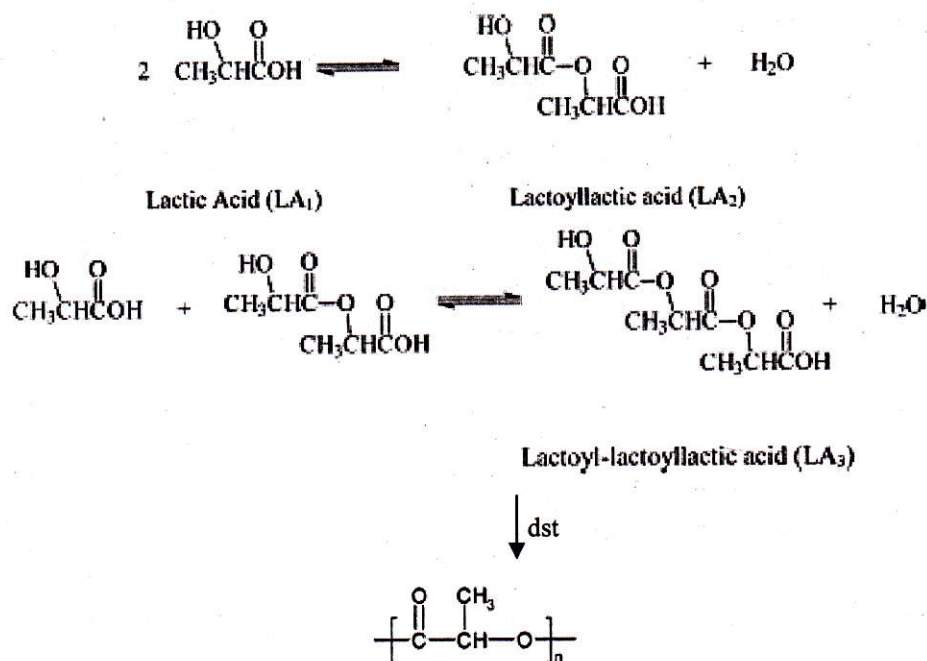
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Pembuatan asam laktat : kulit pisang kepok, *Lactobacillus plantarum*; nutrisi KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, ZnSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan CuSO_4 ; resin Amberlite.
- Polimerisasi asam laktat : timah, eter, molecular sieves, kloroform, metanol

Pada prinsipnya penelitian ini diawali dengan pembuatan asam laktat dari fermentasi filtrat bubur kulit pisang dan dilanjutkan dengan proses pemurnian dan polimerisasi untuk menghasilkan poli asam laktat (PLA) yang akan digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan plastik biodegradabel. Larutan asam laktat diperoleh dari fermentasi filtrat kulit pisang sebelumnya, dimurnikan dengan cara adsorpsi menggunakan resin. Larutan asam laktat encer yang diperoleh dipekatkan dengan cara menguapkan kandungan airnya dan kemudian dipolimerisasi pada tekanan rendah. Mula-mula ditambahkan 0,18 g bubuk timah dan direaksikan selama 2 jam pada temperatur 150°C dan tekanan 1 inHg. Kemudian ditambahkan 0,83 g bubuk timah dan 140 mL eter ke dalamnya. Destilasi dilanjutkan selama 1 jam pada temperatur 130°C dan tekanan konstan. Dipasang kolom yang berisi molecular sieves ke dalam sistem destilasi di atas, larutan direaksikan pada temperatur 130°C dan tekanan 1 inHg selama 24-108 jam. Setelah selesai, ditambahkan kloroform, disaring dan larutan dituang ke dalam metanol. Endapan yang terbentuk disaring dan dikeringkan dalam oven selama beberapa jam. Dilakukan analisa titik leleh dan berat molekulnya.

Hasil Percobaan dan Pembahasan

Proses polimerisasi merupakan reaksi antara grup fungsional OH dan COOH (Flory, 1967). Salah satu faktor yang mempengaruhi reaksi polimerisasi adalah waktu polimerisasi (Narayanan dkk, 2004). Dengan semakin lamanya waktu polimerisasi, polimer asam laktat yang terbentuk akan semakin banyak (Enomoto, 1994). Reaksi pembentukan polimer asam laktat mengikuti tahapan reaksi seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Tahapan reaksi polimerisasi PLA
Sumber: Vu dkk, 2005

Dengan semakin banyaknya polimer asam laktat (poly lactic acid = PLA) yang terbentuk, maka berat molekulnya akan bertambah. Berat molekul PLA yang dihasilkan dari percobaan ini ditentukan melalui hasil pengukuran viskositas intrinsiknya dan dihitung dengan persamaan empiris (Rosen, 1982):

$$[\eta] = k (M)^{\alpha} \quad (1)$$

dimana $[\eta]$: viskositas intrinsik [dL/g]
 M : berat molekul [g/mol]
 k dan α : konstanta, $k = 1,12 \cdot 10^{-4}$ dan $\alpha = 0,742$

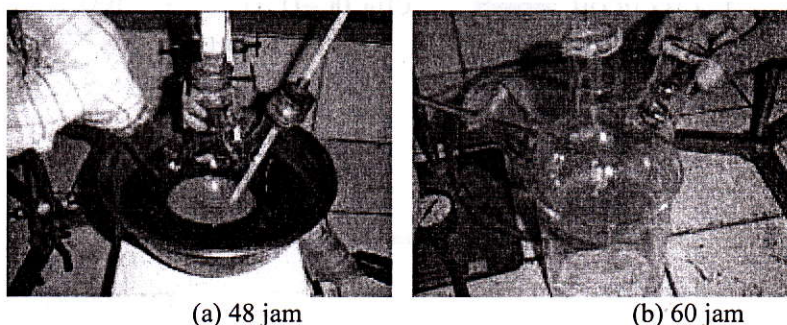
Air yang terbentuk selama proses polimerisasi dikeluarkan dari sistem untuk mendapatkan PLA dengan berat molekul yang tinggi. Pengaruh waktu polimerisasi terhadap berat molekul PLA yang dihasilkan dari percobaan ini disajikan pada Tabel 1. Pada penelitian ini ditetapkan waktu polimerisasi adalah waktu reaksi polimerisasi PLA pada tahap akhir yang menggunakan molecular sieve sebagai *drying agent*-nya.

Tabel 1 Pengaruh waktu polimerisasi terhadap berat molekul PLA

No	Waktu Polimerisasi (jam)	Berat Molekul, M_v (g/mol)			
		1	2	3	Rata-rata
1	24	100.633	89.527	90.953	93.704
2	48	135.652	140.121	121.959	132.577
3	60	150.245	143.478	163.189	152.304
4	84	153.463	185.124	159.369	165.985
5	108	201.015	179.154	165.247	181.805

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kenaikan waktu polimerisasi menyebabkan berat molekul PLA yang dihasilkan dari percobaan ini meningkat. Hal ini disebabkan dengan semakin lamanya waktu polimerisasi, reaksi kondensasi PLA berjalan terus dan pada waktu yang bersamaan air yang terbentuk dikeluarkan dari sistem. Hal ini menyebabkan reaksi polimerisasi PLA berjalan dengan lebih cepat dan sebagai akibatnya dapat dihasilkan PLA yang mempunyai berat molekul tinggi atau dengan kata lain derajat polimerisasinya tinggi. Pengaruh waktu polimerisasi terhadap berat molekul PLA juga diteliti oleh Proikakis dkk (2002). Dengan menaikkan waktu post-curing (menghilangkan air dan oligomer dari PLA) dari 1 menjadi 3 jam, ternyata dapat menaikkan berat molekul PLA dari 1.300 menjadi berturut-turut 1.480 dan 1.870 g/mol.

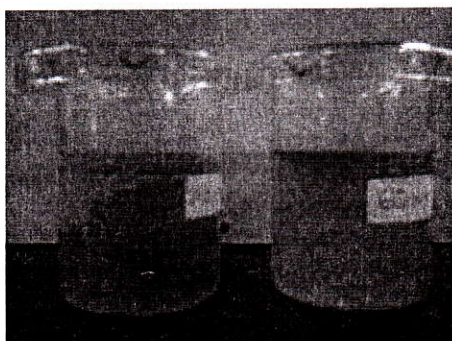
Kenaikan berat molekul akibat lamanya waktu polimerisasi dapat juga diamati secara visual. Hal ini nampak dari viskositas larutan PLA yang telah dipolimerisasi dalam waktu berbeda, yaitu 48 dan 60 jam seperti yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Larutan PLA hasil polimerisasi asam laktat dalam waktu reaksi yang berbeda

Dari Gambar 4 terlihat bahwa semakin lama waktu polimerisasi, larutan PLA yang diperoleh semakin pekat. Larutan PLA yang diperoleh dari hasil polimerisasi selama 60 jam lebih sulit diaduk daripada larutan PLA hasil reaksi 48 jam. Hal ini disebabkan seiring dengan bertambahnya waktu polimerisasi, PLA yang terbentuk semakin panjang sehingga berat molekulnya bertambah. Pertambahan berat molekul ini ditunjukkan dengan naiknya viskositas larutan.

Selain dari viskositas larutan, pertambahan berat molekul PLA akibat semakin lamanya waktu polimerisasi juga dapat dilihat dari proses pengendapannya. Pengendapan PLA yang dihasilkan dari waktu polimerisasi selama 48 dan 60 jam disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengendapan PLA

Dari Gambar 5 terlihat bahwa PLA hasil polimerisasi selama 60 jam lebih dahulu mengendap dibandingkan PLA yang direaksikan selama 48 jam. Kecepatan pengendapan ini dipengaruhi oleh berat molekulnya. Dengan demikian jelas bahwa asam laktat yang dipolimerisasi selama 60 jam menghasilkan berat molekul yang lebih besar dibandingkan dengan 48 jam sehingga kecepatan pengendapannya lebih besar.

Dari data-data berat molekul PLA yang diperoleh dari percobaan ini, seperti yang disajikan pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa distribusi berat molekul PLA yang diperoleh tidak seragam untuk setiap variasi waktu polimerisasi. Hal ini disebabkan reaksi polimerisasi merupakan reaksi acak sehingga kesulitan dalam pengontrolan reaksinya yang berpengaruh terhadap derajat polimerisasi dan berat molekulnya. Dari Tabel 1 dapat diamati bahwa semakin lama waktu polimerisasinya, berat molekul PLA-nya semakin besar dan distribusinya makin tidak rata. Hal ini disebabkan seiring dengan naiknya berat molekul PLA, viskositas larutan PLA juga semakin tinggi sehingga mengalami kesulitan dalam pengadukan larutan selama reaksi polimerisasi berlangsung. Hal ini menyebabkan distribusi PLA di setiap titik menjadi tidak merata atau seragam. Tentu saja hal ini akan menyebabkan kesulitan dalam aplikasi pembuatan plastiknya. Distribusi berat molekul dari suatu bahan plastik yang tidak merata akan mempengaruhi kualitas produk plastiknya.

Berdasarkan penjelasan di atas, ditetapkan bahwa waktu optimum polimerisasi PLA dalam pelarut eter, tekanan 1 inHg dan temperatur 130°C adalah 60 jam. Karakteristik PLA- yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bentuk : padatan, serbuk
- Warna : putih, sedikit kuning
- Berat molekul : 152.304 g/mol
- Titik leleh : 132°C

Kesimpulan

Dari hasil percobaan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. PLA dapat dibuat dengan cara polimerisasi kondensasi melalui beberapa tahap polimerisasi dalam pelarut eter dan katalis timah pada tekanan vakum (1 inHg) dan temperatur tinggi (sekitar 130°C).
2. Waktu polimerisasi PLA yang optimum ditinjau dari berat molekul dan distribusinya adalah 60 jam.
3. Karakteristik produk PLA yang dihasilkan adalah sebagai berikut:
 - Bentuk : padatan, serbuk
 - Warna : putih, sedikit kuning
 - Berat molekul : 152,304 g/mol
 - Titik leleh : 132°C

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai oleh DIKTI melalui Penelitian Hibah Bersaing periode 2007.

Daftar Pustaka

- Avérous, L., (2004), "Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review", *J. Macromol. Sci.*, Vol 44 (3), pp. 231-274.
- Bogaert, J.C. dan Philippe C., (2000), "Poly(lactic acids) : A potential solution to plastic waste dilemma", *Macromol. Symp.*, Vol. 153, pp. 287-303.
- Datta, (1995), "Technological and Economic Potential of Poly(Lactic Acid) and Lactic Acid Derivatives", *FEMS Microbiology Review*, Vol. 16, pp. 221-231.
- Enomoto, K., (1994), "Polyhydroxycarboxylic acid and preparation process thereof", *US Patent No. 5310865*.
- Flieger dkk, (2003), "Biodegradable plastics from renewable sources", *Folio Microbiol.*, Vol. 48 (1), pp. 27-44.
- Flory, P.J., (1967), "*Principles of Polymer Chemistry*", Cornell University Press, pp. 37-45.
- Jacobsen dkk, (1999), "Polylactide (PLA) – A new way of production", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 39 (7), pp. 1311-1319.
- Narayanan dkk, (2004), "L(+)lactic acid fermentation and its product polymerization", *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol. 7 (2), pp.167-174.
- Pranamuda, H., (2001), "Pengembangan Bahan Plastik Biodegradabel Berbahan baku Pati Tropis", *Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21*, pp. 1-14 Februari, Sinergy Forum – PPI Tokyo Institute of Technology.
- Ray, S.S. dan Masami O., (2003), "Biodegradable Polylactide and Its Nanocomposites: Opening a New Dimension for Plastics and Composites", *Macromolecular Rapid Communications*, Vol. 24 (14), pp. 815-840.
- Vu dkk, (2005), "Oligomer distribution in concentrated lactic acid solutions", *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 236, pp.125-135.