
BIODEGRADABLE POLYMER DARI ASAM LAKTAT

I. Noezar, V.S. Praptowidodo, R. Nugraheni, M.H. Nasution
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Gedung Labtek X – Jalan Ganesha 10 Bandung 40132
inoezar@che.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan mensintesis biodegradable polymer, Poly(lactic acid) dari asam laktat melalui reaksi polimerisasi kondensasi tanpa katalis. Poly(lactic acid) yang dihasilkan dalam penelitian ini diharapkan memiliki berat molekul antara 3000-5000 gram/mol. Ruang lingkup penelitian meliputi pemurnian asam laktat, analisa kemurnian asam laktat, reaksi polimerisasi kondensasi dan karakterisasi polimer. Pemurnian asam laktat dilakukan melalui distilasi pada atmosfer nitrogen dan tekanan 1 atmosfer. Reaksi polimerisasi dilakukan melalui polimerisasi kondensasi tanpa katalis dengan variasi waktu reaksi pengadukan mekanik dan laju pemanasan. Karakteristik polimer yang dianalisis adalah berat molekul dan waktu degradasi. Berat molekul dianalisis dengan metode GPC (Gel Permeation Chromatography) dan viskosimetri. Degradasi polimer dilakukan secara landfill. Berdasarkan hasil percobaan, pemurnian asam laktat untuk monomer D,L-Lacticacid (91%-berat) mencapai 98%-berat sedangkan untuk monomer L-Lactic acid (93%-berat) mencapai 96%-berat. Berat molekul yang dihasilkan untuk monomer D,L-Lactic acid adalah 450 – 3600 gram/mol sedangkan untuk monomer L-Lactic acid adalah 4200 – 8500 gram/mol. Waktu degradasi polimer secara landfill adalah 5 minggu.

Kata kunci : Poly(lactic acid), polimer, biodegradable

Abstract

The objective of this research is to learn and to make the biodegradable polymer, Poly(lactic acid), from lactic acid by condensation polymerization without catalyst. Poly(lactic acid) that will be produced in this research should have the molecular weight between 3000-5000 grams/mole. The scopes of this research are the purification of lactic acid, purity analysis, polymerization reaction, and polymer's characteristic analysis. The method of lactic acid purification is distillation in nitrogen atmosphere. Polymerization reaction which is used in this research is the condensation polymerization without catalyst. The polymer's characteristics that will be analyzed are molecular weight and degradation time. Molecular weight is analyzed by viscosimetry method and Gel Permeation Chromatography. Degradation time is analyzed by landfill method. Based on this research, purification of D,L-lactic acid (91%-weight) reaches 98%-weight and for L-lactic acid (93%-weight) reaches 96%-berat. Molecular weight of D,L-lactic acid between 450-3600 grams/mole and L-lactic acid between 4200 – 8500 grams/mole. The degradation time of polymer is 5 weeks.

Keywords: Poly(lactic acid), polymer, biodegradable

1. Pendahuluan

Polimer adalah senyawa kimia yang disusun oleh sejumlah besar monomer dan dihubungkan oleh ikatan kimia di sepanjang rantainya (Billmeyer, 1964). Polimer banyak dibuat dan dikembangkan karena memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang sangat baik seperti tahan korosi, kuat, ringan, relatif tahan terhadap suasana asam, bahkan beberapa polimer tahan pada temperatur tinggi. Berbagai macam produk yang terbuat dari polimer contohnya adalah bahan tekstil, membran, peralatan rumah tangga, bahan semikonduktor pada alat elektronik, plastik pengemasan, teflon dan lain-lain.

Polimer yang dibuat dan dikembangkan saat ini sebagian besar berasal dari bahan-bahan petrokimia. Polimer ini membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terdegradasi secara alami di alam sehingga jika dibuang di alam akan menimbulkan akumulasi sampah polimer. Untuk mengatasi hal tersebut, umumnya pengolahan limbah polimer berbahan dasar minyak bumi dilakukan dengan cara dibakar di *incinerator*. Tetapi cara ini menimbulkan polusi udara berupa gas CO dan CO₂ yang dapat berdampak pada timbulnya pemanasan global (*global warming*).

Oleh karena itu dibutuhkan polimer yang dapat terdegradasi secara alami dalam waktu yang tidak terlalu lama. Polimer ini adalah *biodegradable polymer*. Dalam kurun waktu 25 tahun terakhir, *biodegradable polymer* digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Polimer ini berasal dari sumber daya alam terbarukan berupa produk-produk pertanian seperti kentang, jagung, singkong, bit dan lain-lain. Polimer ini dapat diurai secara biologis di alam dalam waktu beberapa bulan dan tidak menghasilkan zat beracun atau berbahaya (Oomb, 1997).

Poly(lactic acid) atau PLA merupakan salah satu contoh *biodegradable polymer*. PLA terbuat dari asam laktat yang dihasilkan dari fermentasi kentang, jagung, singkong dan lain lain (Ray dan Okamoto, 2003). PLA dapat terurai secara biologis di alam dalam waktu yang tidak terlalu lama dan tidak menghasilkan zat beracun. Penggunaan polimer ini sebagian besar dalam bidang medis yaitu sebagai benang jahit setelah operasi, *pin*, *screw*, *staple*, *drug release*, untuk regenerasi jaringan, medium untuk pengobatan tulang dan kerusakan

kartilago, dan lain-lain. Selain itu, PLA dengan berat molekul tinggi memiliki sifat mekanik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai pengemas sekali pakai.

2. Fundamental

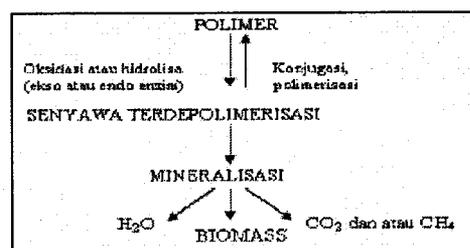
Degradasi adalah proses pemutusan rantai polimer menjadi rantai yang lebih pendek. Secara garis besar, proses degradasi dapat terbagi menjadi *chemical degradation*, *thermal degradation*, dan *biodegradation*.

Chemical degradation adalah proses degradasi karena pengaruh zat-zat kimia seperti asam, basa, pelarut, dan sebagainya. Sementara *thermal degradation* adalah proses degradasi yang terjadi akibat pengaruh panas, sedangkan *biodegradation* merupakan degradasi yang terjadi akibat adanya faktor biologis, seperti bakteri dan enzim.

Biodegradable polymer adalah polimer yang mampu mengalami proses degradasi berupa pemutusan rantai polimer atau ikatan antar monomer pada rantai utama polimer menjadi rantai yang lebih pendek secara biologis oleh makhluk hidup seperti jamur, bakteri, dan enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme.

Menurut Kaplan (1993) biodegradasi polimer merupakan suatu proses degradasi yang dilakukan oleh mikroba melalui aktivitas enzim. Terdapat dua langkah yang terjadi dalam proses biodegradasi, yaitu depolimerisasi (pemutusan rantai) dan mineralisasi yang ditandai oleh timbulnya air, biomassa, gas CO₂, CH₄, N₂.

Proses terjadinya biodegradasi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Kerangka Biodegradasi Polimer

Berdasarkan Gambar 2.1 langkah pertama biodegradasi polimer terjadi di luar tubuh sel atau organisme yang dilakukan oleh bakteri atau jamur. Proses ini terjadi

dalam bentuk endo (pemutusan secara acak pada rantai utama polimer) atau ekso (pemutusan yang diawali oleh bagian ujung rantai). Oligomer yang dihasilkan akan masuk ke dalam sel dan mengalami proses mineralisasi membentuk biomassa, garam, air, gas CO₂, CH₄, dan N₂.

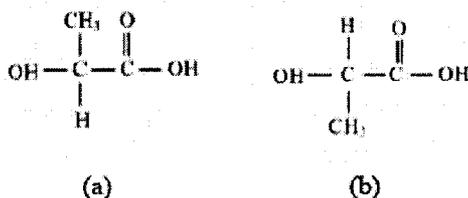
Lactic acid atau asam laktat merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul CH₃CHOHCO₂H. Asam ini merupakan asam organik dalam bentuk fasa cair dan tidak berwarna. Asam laktat ini larut dengan air atau etanol. Asam laktat adalah produk fermentasi dari laktosa (gula susu) yang ada dalam susu asam, yoghurt, dan keju.

Berikut ini adalah data-data sifat fisik asam laktat :

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik asam laktat

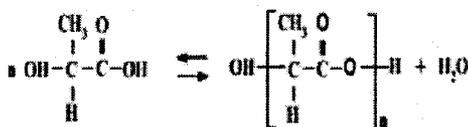
Sifat	Nilai
Berat molekul (gram/mol)	90.08
Gravitasi spesifik	1.2
Titik didih (°C)	190
Titik leleh (°C)	17
Titik nyala (°C)	112

Secara kimia, asam laktat memiliki dua isomer optik yaitu bentuk *dextrorotatory* dan *levorotatory* sebagai berikut:



Gambar 2.2 Struktur isomer optik asam laktat (a) *dextrorotatory*; (b) *levorotatory*

Reaksi polimerisasi asam laktat (*lactic acid*) menjadi *Poly(lactic acid)* merupakan reaksi polimerisasi kondensasi. Secara sederhana reaksi ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Skema reaksi polimerisasi kondensasi asam laktat

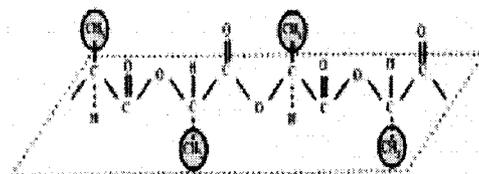
Untuk memperoleh polimer dari asam laktat dengan berat molekul yang tinggi, asam laktat harus dimurnikan terlebih dahulu. Reaksi polimerisasi asam laktat merupakan reaksi

polimerisasi kondensasi dan bersifat reversibel. Air yang dihasilkan selama proses reaksi harus dikeluarkan karena akan mengganggu kesetimbangan reaksi ke arah reaktan.

Reaksi polimerisasi asam laktat akan menghasilkan polimer ataktik, isotaktik dan sindiotaktik, tergantung pada monomernya. Jika monomer yang digunakan adalah DL-*lactic acid* maka polimer yang dihasilkan adalah *Poly(lactic acid)* ataktik dan sindiotaktik.

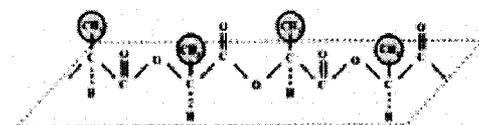


Gambar 2.4 *Poly(lactic acid)* Ataktik



Gambar 2.5 *Poly(lactic acid)* Sindiotaktik

Jika monomer yang digunakan adalah L-*lactic acid* maka polimer yang dihasilkan berupa *poly(lactic acid)* isotaktik.



Gambar 2.6 *Poly(lactic acid)* Isotaktik

Parameter kelarutan didefinisikan sebagai berikut:

$$\delta = (\text{CED})^{1/2} = \left[\frac{\Delta E_v}{v \delta} \right]^{1/2} = \left[\frac{\text{Ekal } \delta}{\text{cm}^3 \delta} \right]^{1/2} = \text{Hildebrand} \quad (1)$$

Keterangan :

CED = *cohesive energy density*, merupakan suatu ukuran kekuatan gaya intermolekul yang menahan molekul bersama-sama di dalam larutan

DE_v = perubahan energi molar pada penguapan

v = volum molar cairan, cm³/g.mol

Parameter kelarutan ini berguna untuk memperkirakan pelarut yang sesuai bagi polimer. Pelarut yang baik memiliki

nilai parameter kelarutan yang dekat dengan polimer serta gaya sekunder yang kuat antara segmen polimer dan molekul pelarut.

3. Metodologi

Asam laktat yang digunakan asam laktat yaitu DL-lactic acid dengan konsentrasi 91%, dan L-lactic acid dengan konsentrasi 93%. Pemurnian asam laktat dilakukan dengan distilasi pada atmosfer nitrogen dan tekanan 1 atmosfer. Distilasi dilakukan dengan dua variasi yaitu secara bertahap dan tidak bertahap.

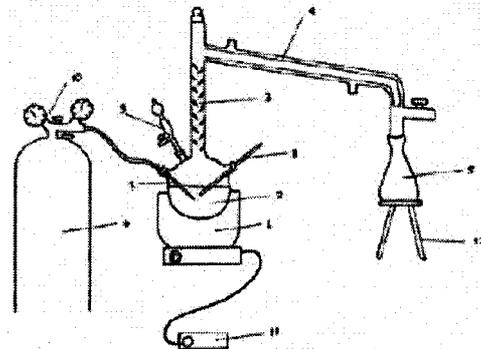
Pada distilasi secara bertahap, asam laktat dipanaskan dengan laju pemanasan tetap yaitu 1°C/menit hingga mencapai temperatur 110°C. Kemudian keadaan tersebut dijaga tetap selama 2 – 3 jam sehingga air yang terdapat di dalam asam laktat dapat diuapkan.

Pada penguapan air secara tidak bertahap, asam laktat hanya dipanaskan dengan laju pemanasan tetap tetapi tidak dijaga pada temperatur tertentu. Penguapan air dihentikan ketika tidak ada lagi air yang menguap dan terkondensasi.

Konsentrasi asam laktat diuji dengan titrasi asam lemah dengan basa kuat yaitu KOH. Indikator yang digunakan adalah fenolftalein.

Polimerisasi asam laktat dilakukan segera setelah pemurnian asam laktat selesai dilakukan. Polimerisasi asam laktat dilakukan pada atmosfer nitrogen dan tekanan 1 atmosfer. Polimerisasi ini dilakukan secara bertahap dan tidak bertahap. Pada polimerisasi bertahap, asam laktat dipanaskan dengan laju pemanasan tetap yaitu 1°C/menit hingga mencapai temperatur 220°C dan dijaga pada temperatur tersebut selama waktu polimerisasi. Pada polimerisasi tidak bertahap, asam laktat dipanaskan dengan laju pemanasan tidak tetap hingga mencapai temperatur 220°C dan dijaga pada temperatur tersebut selama waktu polimerisasi.

Variasi polimerisasi lainnya ialah polimerisasi dan tanpa pengadukan mekanik dan dengan pengadukan mekanik. Berikut ini adalah gambar peralatan polimerisasi :



Gambar 3.1 Rangkaian Peralatan Polimerisasi Tanpa Pengaduk Mekanik

Keterangan :

1 heating mantle	7 kapiler nitrogen
2 labu bundar 500 mL	8 termometer
3 kolom vigreux	9 pipet sampling
4 kondensor	10 regulator nitrogen
5 labu erlemneyer 300 mL	11 stop kontak
6 tabung nitrogen	12 penyangga

Karakterisasi polimer yang dilakukan ialah analisis berat molekul dan uji biodegradasi polimer. Analisis berat molekul dilakukan dengan metode Viskosimetri dan Gel Permeation Chromatography (GPC). Analisis berat molekul secara viskosimetri mengikuti persamaan Mark-Houwink Sakurada sebagai berikut:

$$[\eta] = K \cdot M_v^a \quad (2)$$

Keterangan :

$[\eta]$:	viskositas intrinsik Poly(lactic acid)
K :	konstanta sebesar 7.4×10^{-3} [12]
M_v :	berat molekul rata-rata viskositas Poly(lactic acid)
a :	konstanta sebesar 0.87 [12]

Uji biodegradasi polimer dilakukan dengan membuat polimer dalam bentuk lembaran. Lembaran ini kemudian ditanam dalam tanah, diletakkan di alam terbuka. Setiap satu minggu, perubahan polimer diamati.

4. Hasil dan Pembahasan

Kondisi operasi tiap run percobaan ditampilkan pada Tabel 4.1. Selama proses distilasi, konsentrasi asam laktat (dalam %-massa) semakin meningkat, karena air yang terkandung di dalamnya diuapkan.

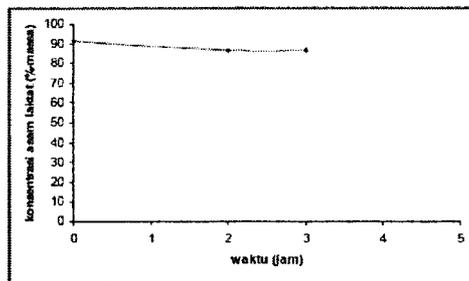
Proses penguapan air dilangsungkan pada temperatur 110°C, karena pada temperatur tersebut air yang ada dalam larutan mendidih sehingga dapat dipisahkan dari asam laktat yang titik didihnya lebih tinggi. Ketika mulai terjadi polimerisasi, kandungan asam laktat mulai

berkurang karena terkonsumsi membentuk imer, oligomer dan polimer. Pada proses olimerisasi kondensasi ini dihasilkan produk samping yaitu air. Namun air ini segera teruapkan dan terkondensasi di luar labu bundar, sehingga tidak mengganggu reaksi.

Tabel 4.1, Kondisi operasi pada tiap run percobaan

Run ke-	Monomer	Laju Alir Nitrogen (mL/s)	Waktu Polimerisasi (jam)	Pengadukan Mekanik	Tahap Pemanasan
1	DL-lactic acid (91%-berat)	-	2	Tidak ada	Tidak Bertahap
2	DL-lactic acid (91%-berat)	-	3	Tidak ada	Tidak Bertahap
3	DL-lactic acid (91%-berat)	22,5	3,5	Tidak ada	Tidak Bertahap
4	DL-lactic acid (91%-berat)	31,2-32,9	4	Tidak ada	Tidak Bertahap
5	L-lactic acid (93%-berat)	31,2	8	Tidak ada	Bertahap
6	L-lactic acid (93%-berat)	51,9	8	Ada	Bertahap
7	DL-lactic acid (91%-berat)	34,6	8	Tidak ada	Bertahap

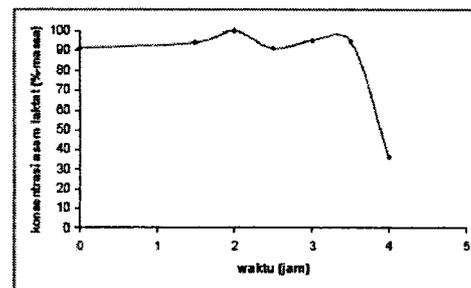
Berikut ini adalah hasil analisa konsentrasi DL-lactic acid selama distilasi untuk Run-3 pada temperatur 110°C :



Gambar 4.1 Kurva Perubahan Konsentrasi DL-lactic acid Selama Distilasi untuk Run-3 pada Temperatur 110°C

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa kadar asam laktat semakin menurun seiring dengan berjalannya waktu. Pengambilan sampel dimulai pada 2 jam setelah titik awal sehingga kadar asam laktat selama proses penguapan air pada 2 jam pertama tidak teramati.

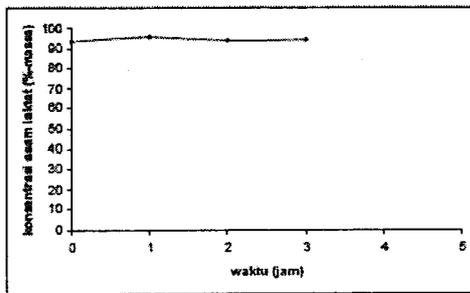
Berikut ini adalah hasil analisa konsentrasi DL-Lactic Acid selama distilasi untuk Run-4 pada temperatur 110°C :



Gambar 4.2 Kurva Perubahan Konsentrasi DL-lactic acid Selama Distilasi untuk Run-4 pada Temperatur 110°C

Pada Gambar 4.2, kadar asam laktat meningkat hingga 99.8% selama distilasi 2 jam pertama. Hal ini terjadi karena air yang ada dalam larutan hampir seluruhnya menguap. Kemudian kadar asam laktat tersebut mulai menurun tajam hingga 36.3%. Hal ini menunjukkan bahwa selama selang waktu tersebut proses polimerisasi mulai terjadi membentuk dimer, trimer, oligomer, dan polimer.

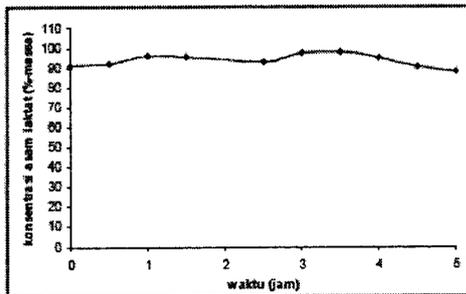
Berikut ini adalah hasil analisa konsentrasi L-lactic acid selama distilasi untuk Run-5 pada temperatur 110°C



Gambar 4.3. Kurva Perubahan Konsentrasi L-lactic acid Selama Distilasi untuk Run-5 dengan Temperatur 110°C

Terlihat pada Gambar 4.3, konsentrasi asam laktat meningkat hingga 95.6% setelah 1 jam distilasi, kemudian semakin menurun pada jam-jam berikutnya. Pada jam ke-4, sampel tidak dapat diambil lagi karena telah terjadi polimerisasi yang menghasilkan *Poly(lactic acid)* yang cepat membeku (titik leleh *poly(lactic acid)* 130-215°C).

Berikut ini adalah hasil analisa konsentrasi D,L-Lactic Acid selama distilasi untuk Run-7 pada temperatur 110°C :



Gambar 4.4. Kurva Perubahan Konsentrasi D,L-lactic acid — Selama Distilasi untuk Run-7 pada Temperatur 110°C

Berdasarkan Gambar 4.4, konsentrasi asam laktat meningkat setelah 1 jam penguapan air, kemudian semakin menurun pada jam-jam berikutnya. Pada jam ke-5, sampel tidak dapat diambil lagi karena telah terjadi polimerisasi yang menghasilkan *poly(lactic acid)* yang cepat membeku (titik leleh *poly(lactic acid)* 130-215°C).

Berat molekul dianalisis dengan metode viskosimetri dan GPC. Berikut ini adalah hasil analisa polimerisasi asam laktat dengan metode Viskosimetri dan *Gel Permeation Chromatography* (GPC) :

Tabel 4.2 Hasil Analisa Berat Molekul Polimer dengan Metode Viskosimetri

Run No.	Monomer	Waktu Reaksi (jam)	Berat Molekul	
			Metode viskosimetri (gram/mol)	Metode GPC (gram/mol)
1	D,L-lactic acid (91%-berat)	2	450	-
2	D,L-lactic acid (91%-berat)	3	550	-
3	D,L-lactic acid (91%-berat)	3.5	650	1000
4	D,L-lactic acid (91%-berat)	4	1600	750
5	L-lactic acid (93%-berat)	8	4200	8200
6	L-lactic acid (93%-berat)	8	8500	-
7	D,L-lactic acid (91%-berat)	8	3600	-

Hasil yang dianalisis dengan menggunakan metode GPC hanya pada run ke-3, 4, 5. Jika dibandingkan dengan metode viskosimetri, metode GPC memiliki keunggulan yaitu dapat menunjukkan distribusi berat molekul. Untuk run ke-3, berat molekul rata-rata (M_w) adalah 1.000 gr/mol. Untuk run ke-4, berat molekul rata-rata (M_w) adalah 750 gr/mol. Untuk run ke-5, berat molekul rata-rata (M_w) adalah 8.200 gr/mol. Sementara dengan metode viskosimetri, berat molekul rata-rata yang diperoleh untuk run ke-3, 4, 5 masing-masing 650 gr/mol, 1.200 gr/mol, 4.200 gr/mol. Berat molekul ini adalah berat molekul rata-rata berdasarkan viskositas (M_v). Berat molekul rata-rata berdasarkan viskositas (M_v) yang diperoleh dari percobaan ini lebih kecil daripada berat molekul rata-rata berdasarkan berat (M_w).

Lama waktu polimerisasi mempengaruhi berat molekul polimer. Semakin lama waktu reaksi, berat molekul polimer akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya molekul-molekul asam laktat yang bereaksi membentuk polimer dengan cara polimerisasi kondensasi yang melepaskan molekul-molekul air. Hasilnya dapat dilihat pada run ke-1 sampai ke-4. Run ke-1 sampai ke-4 monomer yang digunakan adalah DL-lactic acid dengan konsentrasi awal 91%. Waktu reaksi divariasikan dari 2 hingga 4 jam. Pada run ke-1 dengan waktu reaksi 2 jam, berat molekul *poly(lactic acid)* yang dihasilkan adalah 450 gr/mol. Pada run ke-2, dengan waktu reaksi 3 jam berat molekul yang diperoleh

adalah 550 gr/mol. Pada run ke-3 dengan waktu reaksi 3.5 jam, berat molekul yang diperoleh adalah 650 gr/mol. Pada run ke-4 dengan waktu reaksi 4 jam, berat molekul yang diperoleh adalah 1.600 gr/mol.

Saat waktu reaksi polimerisasi kurang dari 4 jam, molekul yang terbentuk hanya oligomer-oligomer. Setelah 4 jam baru terbentuk rantai-rantai polimer yang panjang, hasil reaksi antara molekul-molekul oligomer. Berdasarkan percobaan pada run ke-5, 6, dan 7, dengan waktu polimerisasi selama 8 jam, berat molekul polimer yang dihasilkan lebih besar daripada run ke-1, 2, 3 dan 4 yaitu 4.500, 8.500, dan 3.600 gram/mol.

Pengadukan mekanik akan memudahkan kontak antara monomer-monomer asam laktat sehingga persebaran berat molekul yang dihasilkan lebih merata. Hal ini dapat dilihat pada run ke-5 dan ke-6. Pada percobaan tersebut, monomer yang digunakan adalah *L-lactic acid* dengan konsentrasi 93% dan lama waktu reaksi adalah 8 jam. Run ke-5 hanya menggunakan gelembung-gelembung nitrogen untuk mengaduk asam laktat, sedangkan run ke-6 menggunakan gelembung-gelembung nitrogen dan pengaduk mekanik. Pada run ke-5, berat molekul yang diperoleh adalah 4.200 gr/mol, sedangkan pada run ke-6 berat molekul yang dihasilkan adalah 8.500 gr/mol.

Untuk waktu reaksi yang sama, polimer memiliki berat molekul yang lebih besar jika selama proses reaksi dilakukan pengadukan mekanik.

Sifat stereoisomer mempengaruhi berat molekul polimer. Terdapat tiga jenis stereoisomer, yaitu ataktik, isotaktik, dan sindiotaktik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.4, 2.5 dan 2.6. Polimer isotaktik dan sindiotaktik dapat menghasilkan polimer dengan berat molekul yang besar.

Pada percobaan ini, polimer ataktik dan sindiotaktik dihasilkan oleh run ke-1,2,3 dan 4 dengan berat molekul masing-masing 450, 550, 650 dan 1.600 gram/mol. Polimer isotaktik dihasilkan oleh run ke-5, 6 dan 7 dengan berat molekul masing-masing 4.200, 8.500 dan 3.600 gram/mol.

Poly(lactic acid) yang dihasilkan dari monomer *DL-lactic acid* membentuk polimer ataktik dan sindiotaktik. *DL-lactic acid* merupakan campuran rasemik antara *D-lactic acid* dan *L-lactic acid* sehingga struktur polimer yang dihasilkan tidak seragam.

Poly(lactic acid) yang dihasilkan dari monomer *L-lactic acid* lebih mudah membentuk

stereoisomer isotaktik sehingga berat molekulnya lebih tinggi daripada monomer *DL-lactic acid*. Perbandingan ini dapat dilihat pada run ke-5 dan ke-7. Untuk stereoisomer yang berbeda dan waktu reaksi serta kondisi pengadukan mekanik yang sama, *poly(lactic acid)* yang dihasilkan dari monomer *L-lactic acid* memiliki berat molekul yang lebih besar daripada *poly(lactic acid)* yang dihasilkan dari monomer *DL-lactic acid*

Salah satu polimer hasil percobaan diuji untuk membuktikan sifat biodegradasi *poly(lactic acid)*. Polimer yang diuji adalah polimer run-5 dengan berat molekul 4200 gram/mol dan monomer *L-lactic acid*. Polimer ini dibuat dalam bentuk kepingan dan disimpan di dalam tanah serta dibiarkan di alam terbuka.

Pada minggu pertama polimer ini mulai berubah warna dari bening menjadi putih. Hal ini karena polimer mengalami hidrolisis pada permukaannya. Hidrolisis polimer ini menghasilkan asam laktat. Pada minggu kedua, struktur polimer mulai retak menjadi bagian-bagian yang agak besar. Hal ini karena hidrolisis lanjut hingga bagian dalam polimer. Pada minggu ketiga dan keempat, bagian-bagian yang besar retak menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Hal ini karena hidrolisis pada lanjut terjadi pada bagian-bagian yang besar sehingga retak menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Pada minggu kelima bagian-bagian yang kecil hancur. Hal ini berarti seluruh bagian dari polimer telah terhidrolisis.

Poly(lactic acid) yang dihasilkan oleh monomer *D,L-lactic acid* maupun monomer *L-lactic acid* larut dalam kloroform, benzene dan metanol. Hal ini karena *poly(lactic acid)* memiliki parameter kelarutan (δ , *solubility parameter*) yang dekat dengan kloroform, benzene dan metanol. *Poly(lactic acid)* memiliki parameter kelarutan antara 9.28 - 10 sedangkan kloroform dan benzene berturut-turut 9.2 dan 9.02. Hal ini berarti gaya sekunder antara segmen polimer dan molekul pelarut kuat.

Poly(lactic acid) yang dihasilkan oleh monomer *D,L-lactic acid* maupun monomer *L-lactic acid* tidak larut dalam air. Hal ini karena *Poly(lactic acid)* memiliki parameter kelarutan (δ , *solubility parameter*) yang berbeda jauh dengan air. *Poly(lactic acid)* memiliki parameter kelarutan antara 9.28 - 10 sedangkan air adalah 23.43.

5. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *poly(lactic acid)* yang dihasilkan memiliki karakteristik umum yaitu larut dalam kloroform dan benzene, dan tidak larut di dalam air, monomer *D,L-lactic acid* membentuk polimer ataktik dan sindiotaktik (berat molekul 450 – 3.600 gram/mol), polimer bersifat lengket dan menyerupai lem, sedangkan monomer *L-lactic acid* membentuk polimer isotaktik dengan BM 4.200-8.500 gram/mol. Merupakan padatan yang keras.

Waktu polimerisasi berpengaruh pada peningkatan berat molekul polimer. Pengadukan mekanik berpengaruh pada peningkatan berat molekul polimer. *Poly(lactic acid)* dengan berat molekul 4.200 gram/mol akan terdegradasi di lingkungan dalam waktu kurang lebih 5 minggu.:

Daftar Notasi

a	= konstanta pangkat untuk persamaan <i>Mark-Houwink-Sakurada</i>
CED	= <i>cohesive energy density</i>
δ	= parameter kelarutan (<i>solubility parameter</i>)
DE _v	= perubahan energi molar pada penguapan
K	= konstanta pengali untuk persamaan <i>Mark-Houwink-Sakurada</i>

[η]	= viskositas intrinsik
v	= volum molar cairan

Daftar Pustaka

- [1] Callister, W.D., (1997), "*Material Science and Engineering, An Introduction*", Wiley and Sons, Inc., Canada.
- [2] D'Alelio, G.F., (1952), "*Fundamental Principles of Polymerization Rubbers, Plastic and fibers*", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1952.
- [3] Oomb, A.J., Kost, J., Wiseman, D.M., (1997), "*Handbook of Biodegradable Polymers*", Harwood Academic Publishers.
- [4] Kovalchuk, A., et.al., (2004), "*Controlled Release of Goserelin from Microporous Polyglycolide and Polylactide*", University of Duisburg-Essen, Essen.
- [5] Perego, G., et.al., (1996), "Process for the production of poly(lactic acid)," *United States Patent No. 5543494*.
- [6] Praptowidodo, V.S., "*Teknologi Pemrosesan Polimer*", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1999.
- [7] Ray, S.S., dan Okamoto, M., (2003), "Biodegradable Polylactide and Its Nanocomposites: Opening a New Dimension for Plastics and Composites," *Advanced Polymeric Materials Engineering*, Toyota Technological Institute, Nagoya, Jepang.
- [8] Vries, De dan Klaas, S., (1989), "Preparation of Poly(lactic acid) and copolymers of lactic acid", *United States Patent No. 4797468*.