DETERJENSI DARI SAGU DAN ASAM ALGINAT TERDIKARBOKSILASI YANG BIODEGRADABEL

DETERGENCY OF BIODEGRADABLE DICARBOXYLATED SAGO AND ALGINIC ACID

Isananto Winursito

Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado
e-mail: isananto@yahoo.com

Naskah diterima 1 Agustus 2013, disetujui 20 Nopemembr 2013

ABSTRAK

Terhadap pati sagu dan asam alginat telah dilakukan dikarboksilasi-sebagian sebagai suatu alternatif untuk mencari pengganti sodium tripolifosfat (STPP), suatu builder dalam formulasi deterjen, yang menyebabkan eutrofikasi pada badan air. Beberapa sagu dan asam alginat terdikarboksilasi (ST dan AT) telah dibuat dengan variasi derajat dikarboksilasi berkisar antara 10 sampai 81 mol%, kemudian dilakukan evaluasi terhadap unjuk kerja builder dalam deterjen, kemampuan sekuestrasi ion kalsium, dan biodegradabilitasnya. Deterjensi, kemampuan sekuestrasi ion kalsium dan biodegradabilitas dipengaruhi oleh besarnya derajat dikarboksilasi. AT dengan derajat dikarboksilasi lebih dari 58-60 mol% memperlihatkan unjuk kerja builder dalam formulasi deterjen, dan kemampuan sekuestrasi ion kalsium dengan baik. Di sisi lain, ST dengan derajat lebih dari 25 mol% mempunyai biodegradabilitas yang lebih baik dari pada AT dengan derajat dikarboksilasi yang sama. Meskipun demikian, AT dengan derajat dikarboksilasi lebih dari 50 mol% ternyata resisten terhadap biodegradasi.

Kata Kunci : builder, deterjensi, biodegradabel, sagu, asam alginat.

ABSTRACT

Sago and alginic acid were partially-dicarboxylated and used as an alternative for substitution of sodium tripolyphosphate (STPP) which cause eutrophication in water body. Dicarboxylated sago and alginic acid (ST and AT) with degree of dicarboxylations from 10 to 81 mol% were prepared, and their builder performance in detergent formulation (as relative detergency and calcium ion sequestration capacity), and biodegradability were measured. The detergency and calcium ion sequestration capacity of ST and AT depended on the degree of dicarboxylation. AT with degree of dicarboxylations more than 58-60 mol% showed excellent builder performance in detergent formulations based on the detergency and calcium ion sequestration capacity. On the other hand, ST with degree of dicarboxylations more than 25 mol% showed better in biodegradability than AT at the same basis. However, AT with degree of dicarboxylations more than 50 mol% was resistant to biodegradation

Keywords : builder, detergency, biodegradable, sago, alginic acid.

PENDAHULUAN

Sodium tripolifosfat (STPP) dalam industri pembersih berfungsi sebagai builder atau zat pembangun (Briyanto, et.al., 2009). Builder merupakan suatu sekuestran, yaitu bahan yang dapat melakukan sekuestrasi atau pemerangkapan ion-ion logam yang terdapat dalam garam-garam yang larut dalam air, terutama di dalam air sadah. Logam dalam air sadah mengganggu kinerja surfaktan sehingga efektivitas deterjensi dalam pembersih menjadi berkurang. Pada pasca-pemakaian bahan pembersih, STPP karena kandungan fosfatnya dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam lingkungan sehingga dapat mengakibatkan kematian pada tumbuhan di perairan sebagai akibat dari terjadinya eutrofikasi (Conley, et.al., 2009; Jeffri, 2011). Oleh karena itu untuk menjaga kelestarian lingkungan perlu dicari bahan pengganti STPP yang mempunyai fungsi sama namun bersifat ramah lingkungan.

Polikarboksilat dengan bobot molekul tinggi dapat digunakan sebagai polimer fungsional yang larut dalam air, termasuk sebagai *dispersant* dan builder pada bahan pembersih. Namun, polikarboksilat bobot molekul tinggi tersebut pada umumnya sangat resisten terhadap biodegradasi, yang justru merupakan kriteria penting dalam pemakaiannya di industri dalam skala besar. Dengan pemikiran bahwa jika dalam polimer tersebut masih terdapat bagian yang degradabel, maka diharapkan bahan tersebut dapat diterima sebagai polimer fungsional yang biodegradabel untuk menggantikan STPP. Karbohidrat dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan polikarboksilat bobot molekul tinggi karena bahan tersebut murah, mudah didapat, dapat diperbaharui (*renewable*) dan merupakan material yang biodegradabel.

Alginat yang banyak terdapat di dalam rumput laut merupakan salah satu

sumber karbohidrat yang potensial untuk industri. Alginat dapat diperoleh dari perairan di daerah tropis sampai subtropis. Alginat, yang merupakan asam poliuronat linier dan tersusun dari poli(-D-asam manuronat) dan poli(-L-asam guluronat), terdapat dalam algae laut coklat (*Phaeophyta*). Algae tersebut termasuk dalam marga *Ascophyllum*, *Macrocystis*, *Laminaria*, *Durvillaea*, *Ecklonia*, *Laessonina*, *Sargassum* dan *Turbinaria* (Yulianto, 2007, Yunisa, 2007).

Di sisi lain, pati juga merupakan bahan yang terdapat secara melimpah dan merupakan salah satu alternatif bahan dalam pembuatan polikarboksilat bobot molekul tinggi. Pati pada umumnya terdiri dari amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan makromolekul dengan rantai linier tersusun dari (1,4)- -D-glukopiranosida, sedangkan amilopektin merupakan struktur bercabang, mempunyai (1,4)- di antara unit glukopiranosida dan ikatan (1,6)- pada percabangannya. Komposisi amilosa dan amilopektin dalam pati mempunyai variasi yang sangat besar, tergantung pada asal dan jenis tanaman, kondisi geografis, waktu pemanenan, kesuburan tanah, proses dalam pembuatan pati, dan lain lain. Namun secara umum di dalam pati terkandung amilosa sebanyak 20-30 % dan amilopektin sebanyak 70-80 % (Chaplin, 2012).

Sagu, yang banyak dihasilkan terutama di kawasan Indonesia bagian timur, akhir-akhir ini menjadi bahan pati yang semakin marak diteliti. Hasil pati sagu per unit area bahkan dilaporkan dapat mencapai 3-4 kali lebih tinggi dari pada beras, jagung atau gandum, dan kurang lebih 17 kali lebih tinggi dari pada singkong (Karim, et.al, 2008). Selain aplikasi dan modifikasi pati sagu untuk keperluan pangan (Septiana, 2009), pati sagu juga diteliti untuk aplikasi di bidang industri pembuatan etanol (Sari, 2009), bahkan sampai ke penelitian pembuatan plastik biodegradabel (Christianty, 2009, Margino, et.al, 2009, Yanti, et.al., 2009)

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan substitusi STPP, menggunakan bahan dasar pati dari sagu dan asam alginat. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesa polikarboksilat dari pati sagu dan asam alginat dengan reaksi dikarboksilasi-sebagian, dalam upaya mendapatkan gugus karboksilat untuk fungsi sekuestrasi/memerangkap ion-ion logam dalam air sadah supaya tidak mengganggu fungsi surfaktan, namun tetap menyisakan unit glukopiranosa yang berfungsi sebagai unit yang biodegradabel. Selanjutnya, polimer hasil sintesa ini dievaluasi terhadap unjuk kerja atau performansi builder dalam formulasi deterjen, kemampuan sekuestrasi ion kalsium, serta biodegradabilitasnya.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan antara lain : Pati sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) diperoleh dari pasaran, sedangkan asam alginat (dari *Macrocystis pyrifera*) diperoleh dari Aldrich Chemical Co. Bahan-bahan kimia lain untuk proses dan pengujian dengan kemurnian tinggi diperoleh dari *supplier* bahan kimia.

Alat yang digunakan antara lain: ^{13}C NMR (*nuclear magnetic resonance*) model JNM-FX90A (JEOL Ltd., Tokyo, Japan), untuk mengamati struktur atom karbon dari polimer terdikharsilasi yang dihasilkan. GPC (gel permeation chromatography), Tosoh Co., Ltd., untuk pengukuran bobot molekul rata-rata (M_n) dan distribusi bobot molekul (M_w/M_n). Terg-O-Tometer, sebagai simulasi mesin cuci dengan tipe agitator skala laboratorium, untuk uji pencucian. BOD-tester (Model 200 F; TAITEC Corp., Koshigaya-Shi, Japan), untuk pengukuran BOD (*biochemical oxygen demand*).

Metode

Pembuatan Sagu dan Asam Alginat Terdikharsilasi

Pembuatan sagu terdikharsilasi yang mempunyai bobot molekul 12.300 dan derajat dikarboksilasi 67 mol% digunakan sebagai tipikal contoh sintesa. Pati sagu sebanyak 5 gram disuspensikan ke dalam 145 ml larutan natrium peryodat (NaIO_4) 0,2 M, diaduk menggunakan *stirrer* pada suhu 4 °C selama 24 jam dalam gelap dengan cara erlenmeyer sebagai tempat reaksi dibungkus total dengan aluminium foil. Setelah itu suspensi disaring, dicuci dengan air dingin, dikeringkan secara vakum sehingga diperoleh diformil-pati yang kemudian disuspensikan ke dalam 123 ml akuades. Gas nitrogen dialirkan ke dalam suspensi tersebut pada suhu 0 °C selama 30 menit, kemudian larutan dari 26 gram natrium klorit (NaClO_2) dalam 70 ml air ditambahkan ke suspensi diformil-pati. pH larutan diatur menjadi 4,0 menggunakan asam asetat, diaduk menggunakan *stirrer* pada suhu 20 °C selama 24 jam. Suhu kemudian dinaikkan menjadi 50 °C dan reaksi dilanjutkan selama 1 jam. Gas nitrogen kembali dialirkan ke dalam larutan sampai larutan menjadi tidak berwarna, kemudian pH larutan dinaikkan menjadi 10 menggunakan larutan NaOH 3M. Larutan kemudian dituang secara perlahan ke dalam 400 ml etanol dengan pengadukan untuk mengendapkan polimer. Endapan polimer yang diperoleh dilarutkan dengan 50 ml akuades dan dilakukan dialisa selama 3 hari. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan endapan yang tidak larut dalam air, dan filtrat yang diperoleh dilakukan evaporasi-vakum untuk mengurangi kadar airnya sebelum dilakukan *freeze-drying*. Dari proses ini diperoleh sagu terdikharsilasi berupa puder putih dengan kandungan dikarboksilat sebesar 67 mol%, bobot molekul rata-rata (M_n) 12.300 dan distribusi bobot molekul (M_w/M_n) sebesar 1,8.

Sagu yang lain serta asam alginat terdikharsilasi, dibuat dengan prosedur yang sama, namun dengan beberapa konsentrasi natrium peryodat yang berbeda

untuk mendapatkan polikarboksilat dengan berbagai derajat dikarboksilasi. Hasil dari seluruh percobaan dan analisa data disajikan dalam Tabel 1.

Uji Deterjensi

Uji pencucian dilakukan dengan air yang mengandung 54 mg/liter CaCO_3 dengan perbandingan berat kain dan larutan = 1:30, pada suhu 25 °C, dan konsentrasi deterjen 12 gram/liter. Larutan deterjen tersebut dibuat dengan basis komposisi (berat/vol): n-sodium dodesilbensensulfonat 20 %, builder (STPP atau sampel polimer) 25 %, natrium silikat 5 %, natrium karbonat 3 %, CMC (karboksi metil selulosa) 0,5 %, dan natrium sulfat 46,5 %.

Efisiensi pencucian dari polimer ditentukan dengan Terg-O-Tometer, pada 25 °C, dengan menggunakan kain rajut (bahan kaos) yang dikotori secara artifisial. Pengadukan dan suhu harus dijaga konstan karena sangat mempengaruhi daya deterjensi (Rahman dan Lelono, 2013).

Reflektansi sinar dari kain yang dipakai untuk pengujian diukur dengan reflektometer otomatis yang dilengkapi dengan filter hijau. Nilai X, yang merupakan rasio koefisien reflektivitas dan sebaran sinar, dihitung dari persamaan:

$$X = (1-R)^2 / 2R,$$

dimana R adalah reflektansi. Kemudian deterjensi dinyatakan menurut persamaan:

$$\text{Deterjensi (\%)} = (A-B) / (A-C) \times 100,$$

dimana

A = nilai X dari kain rajut yang telah dikotori,

B = nilai X dari kain rajut sesudah pencucian

C = nilai X dari kain rajut dalam kondisi mula-mula sebelum dilakukan pengotoran.

Sekuestrasi ion kalsium

Pengukuran konsentrasi ion kalsium dilakukan menggunakan elektroda ion kalsium (Model 93-20, Orion Research, Inc., Boston, MA) dan ion meter (IM-20E, TOA Electronic, Ltd., Tokyo, Japan). Polimer sebanyak 10 mg dilarutkan ke dalam 50 ml larutan kalsium 1×10^{-3} M yang mengandung 0.08 M KCl (*ion strength*, $\mu = 0.08$). pH diatur menjadi 9 pada suhu 30°C. Elektroda dicelupkan ke dalam larutan kemudian diaduk dengan *stirrer*. Sesudah 10 menit, konsentrasi ion kalsium bebas diukur/dibaca, dan kapasitas sekuestrasi kalsium dinyatakan sebagai gram ion kalsium yang mengalami sekuestrasi dari 100 gram polimer. Untuk pembandingan, polimer diganti dengan sodium tripolifosfat (STPP) dengan basis berat yang sama dengan polimer.

Pengujian biodegradasi

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian BOD (*biochemical oxygen demand*) dan perhitungan TOD (*theoretical oxygen demand*) untuk dapat menghitung besaran biodegradasinya.

BOD ditentukan berdasar metoda konsumsi oksigen, mengacu pada *OECD Guidelines for Testing of Chemicals* pada suhu 25 °C (OECD, 1981). Sebagai sumber mikrobia digunakan lumpur aktif (*activated sludge*) yang diambil dari suatu instalasi pengolahan akhir limbah rumah tangga (*sewage treatment plan*). Detail dari metoda uji ini serta perhitungan lebih lanjut, telah kami laporkan dalam publikasi sebelumnya (Winursito, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan sagu dan asam alginat terdikarboksilasi

Pati dari sagu maupun asam alginat merupakan sumber karbohidrat yang banyak terdapat di daerah tropis sampai sub tropis, dan keduanya merupakan polimer yang tersusun dari unit-unit glukopiranosa. Sagu tersusun dari rantai

polimer yang linier (amilosa) dan bercabang (amilopektin) (Fazilah, et.al., 2011), sedangkan asam alginat tersusun dari unit-unit glukopiranosida dengan rantai linier (Draget dan Taylor, 2011). Reaksi dikarboksilasi-sebagian dari sagu maupun asam alginat dengan beberapa tingkatan atau derajat dikarboksilasi dibuat dengan

oksidasi-sebagian visinal diol dari unit glukopiranosida menggunakan natrium peryodat (NaIO_4) menjadi dialdehida, kemudian dilakukan oksidasi lebih lanjut menggunakan natrium klorit (NaClO_2) menghasilkan dikarboksilat, seperti dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Reaksi Dikarboksilasi-sebagian Dengan Konversi Visinal Diol Pada Gugus Glikopiranosida Dari Pati Sagu Menjadi Dikarboksilat Melalui Dialdehida.

Besarnya perkiraan derajat dikarboksilasi dari polimer yang diinginkan, diatur dengan besarnya konsentrasi natrium peryodat. Semakin banyak natrium peryodat yang digunakan maka semakin banyak dikarboksilat yang terbentuk sehingga derajat dikarboksilasi semakin tinggi. Meskipun demikian, reaksi ini juga membawa akibat terjadinya pemutusan rantai-rantai polimer. Semakin banyak pengoksidasi yang digunakan maka semakin besar kemungkinan terjadinya pemutusan rantai polimer. Hal ini ditunjukkan dari terjadinya penurunan bobot molekul rata-rata (M_n).

Di sisi lain, penggunaan konsentrasi natrium peryodat yang rendah menghasilkan sagu maupun asam alginat terdikarboksilasi dengan bobot molekul yang relatif tinggi. Pemotongan rantai polimer juga mengakibatkan variasi bobot molekul polimer menjadi lebih kecil, seperti ditunjukkan dari sebaran/distribusi bobot molekul (M_w/M_n) polimer yang menjadi semakin sempit (*narrow*) pada penggunaan natrium peryodat yang semakin banyak. Data polimer hasil dikarboksilasi sagu dan asam alginat secara lengkap disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Konsentrasi NaIO_4 Yang Digunakan Dalam Oksidasi Dan Hasil Akhir Reaksi Dikarboksilasi-sebagian Dari Sagu Dan Asam Alginat.

Senyawa ^{a)}	Konsentrasi NaIO_4 (M)	Kandungan dikarboksilat (mol%)	Mn	Mw/Mn
ST-14300(10)	0,015	10	14300	7,6
ST-18100(23)	0,05	23	18100	3,8
ST- 8900(44)	0,1	44	8900	2,1
ST-12300(67)	0,2	67	12300	1,8
ST-11800(81)	0,3	81	11800	1,8
AT-24600(13)	0,0175	13	24600	2,3
AT-14000(24)	0,05	24	14000	2,0
AT-11000(42)	0,12	42	11000	1,9
AT-12800(53)	0,19	53	12800	1,8
AT-12500(56)	0,26	56	12500	1,8
AT-11600(61)	0,33	61	11600	1,9

a) Kode polimer: angka pertama menunjukkan bobot molekul rata-rata (Mn), diikuti dengan angka di dalam kurung yang menunjukkan kandungan dikarboksilat (mol%) hasil reaksi dikarboksilasi-sebagian dari sagu dan asam alginat.

ST = sagu terdikarboksilasi;
Mn = Bobot molekul rata-rata;

AT = asam alginat terdikarboksilasi;
Mw/Mn = sebaran/distribusi bobot molekul

Gambar 2. Spektrum ^{13}C NMR dan Data Insutan Kimia (*Chemical Shift*) dari ST-14300(10).

Untuk mengkonfirmasi telah terbentuknya dikarboksilat maupun terdapatnya sisa unit glukopiranos, dilakukan analisa menggunakan ^{13}C NMR terhadap sampel ST-14300(10), sebagai representasi, dengan hasil seperti yang disajikan pada Gambar 2. Bagian dari glukopiranos yang telah terdikarboksilasi menghasilkan dua gugus karboksilat ($-\text{COONa}$) baru. Gugus inilah yang menentukan kelarutan dari ST maupun AT di dalam air.

Unjuk kerja builder dalam formulasi deterjen

Polimer yang mengandung gugus karboksilat dengan jumlah yang relatif cukup di dalam rantainya diharapkan dapat menggantikan STPP (sodium tripolifosfat) sebagai builder dalam formulasi deterjen. Performansi atau unjuk kerja dari ST dan AT dievaluasi dengan basis berat yang sama dalam deterjen, menggunakan kain rajut yang telah dikotori secara standar (bahan pengotor diperoleh dari Lion Co., Ltd).

Deterjensi

Deterjensi dari ST dan AT, yang dinyatakan secara relatif dengan nilai 10 untuk STPP dan 0 untuk blank, ditampilkan pada Gambar 3 sebagai fungsi dari derajat dikarboksilasi. Dari Gambar 3 tersebut tampak bahwa deterjensi tergantung pada kandungan gugus karboksilat dalam polimer. Polimer dengan kandungan karboksilat yang tinggi menunjukkan performansi builder yang lebih baik, dan sampel ST sampai derajat dikarboksilasi yang paling tinggi unjuk kerjanya belum dapat melebihi STPP.

Secara umum AT memberikan deterjensi relatif yang lebih baik dari ST pada derajat dikarboksilasi yang sama. Bahkan AT dengan derajat dikarboksilasi di atas 58 mol% menunjukkan performansi builder yang lebih baik dibandingkan dengan STPP sebagai standar acuan. Hal ini diduga terjadi akibat dari adanya tambahan gugus karboksilat pada atom C nomor 6 dalam unit glukopiranosa pada asam alginat (Draget dan Taylor, 2011). Jika pada pati sagu atom C nomor 6 dapat berupa $-CH_2OH$ atau $CHO-$ (aldehida), pada asam alginat atom C nomor 6 berupa $-COONa$ (karboksilat), sehingga kelebihan karboksilat pada AT inilah yang diduga memberikan pengaruh lebih baik dalam performansi builder dibandingkan dengan AT pada derajat dikarboksilasi yang sama.

Gambar 3. Deterjensi relatif dari sagu dan alginat terdakarboxilasi (ST dan AT) sebagai fungsi dari derajat karboxilasi, dengan basis nilai perbandingan 10 untuk STPP dan 0 untuk blank.

Sekuestrasi ion kalsium

Sekuestrasi ion kalsium merupakan hal yang paling penting dalam mengevaluasi sifat builder. Seperti tampak pada Gambar 4, kemampuan sekuestrasi atau pemerangkapan ion kalsium dari ST dan AT sebagai fungsi dari derajat dikarboksilasi. Semakin tinggi derajat dikarboksilasi memberikan sekuestrasi ion kalsium yang semakin besar. Dari penelitian, diperoleh sekuestrasi ion kalsium STPP adalah sebesar 18,2. Polimer AT dengan derajat dikarboksilasi yang tinggi menunjukkan kemampuan sekuestrasi ion kalsium yang baik, bahkan pada derajat dikarboksilasi di atas 60 mol% dapat melebihi sekuestrasi ion kalsium STPP. Meskipun demikian, polimer ST masih belum dapat mengungguli kemampuan sekuestrasi dari STPP pada basis berat yang sama. Dalam aplikasinya nanti kekurangan ini dapat diatasi dengan menambahkan jumlah pemakaian polimer sehingga mencapai kesetaraan dengan STPP, baik dalam sifat deterjensi maupun kemampuan sekuestrasi ion kalsium.

Gambar 4. Kemampuan Sekuestrasi Ion Kalsium Sebagai Fungsi Dari Derajat Dikarboksilasi. Sekuestrasi Ion Kalsium STPP adalah 18,2 gram Ca/100 gram sampel.

Biodegradabilitas sagu dan asam alginat terdikarboksilasi

Cara yang paling sesuai untuk memprediksi potensi biodegradabilitas dari suatu polimer adalah dengan mengukur nilai BOD-nya. Gambar 5 dan 6 memperlihatkan kurva biodegradasi (BOD/TOD) beberapa sampel ST dan AT, dihitung dari nilai BOD dan TOD (*theoretical oxygen demand*)-nya. Nilai BOD diperoleh dari pengujian biodegradasi terhadap ST dan AT menggunakan BOD-tester, dengan lumpur aktif sebagai sumber mikrobial. ST dan AT yang masih mengandung sisa gugus glukopiranosa mengalami biodegradasi oleh lumpur aktif.

Dari Gambar 5 dan 6 tampak bahwa biodegradasi tergantung pada jumlah relatif gugus glukopiranosa dalam polimer yang tidak bereaksi atau derajat dikarboksilasi. Pada AT (lihat Gambar 6), biodegradasi secara cepat tampak pada 5-hari pertama dalam masa inkubasi, kemudian kecepatan biodegradasi menurun secara gradual/bertahap. Di lain pihak, seperti tampak pada Gambar 5, ST tidak mengalami lonjakan drastis kecepatan biodegradasinya di hari-hari awal inkubasi, namun secara gradual terus terjadi peningkatan.

Gambar 5 dan 6 juga menunjukkan bahwa, baik pada ST maupun AT, semakin tinggi derajat dikarboksilasi maka biodegradasi semakin rendah. Bahkan pada AT-12800(53) biodegradasi tidak dapat berlangsung.

Gambar 5. Biodegradasi Dari Sagu Terdikarboksilasi (ST) Selama 28 Hari Masa Inkubasi Dalam Pengujian. (○) ST-14300(10); (△) ST-8900(44); (□) ST-11800(81).

Gambar 6. Biodegradasi dari asam alginat terdikarboksilasi (AT) dalam masa inkubasi selama 28 hari. (□) AT-24600(13); (○) AT-14000(24); (△) AT-11000(42); (◇) AT-12800(53).

Korelasi antara derajat dikarboksilasi dengan tingkat biodegradasi ST dan AT dapat dilihat pada Gambar 7. Dari gambar tersebut tampak bahwa biodegradabilitas ST dan AT dipengaruhi oleh jumlah unit glukopiranosa dalam polimer. Semakin rendah derajat dikarboksilasi (yang berarti semakin tinggi sisa unit glukopiranosanya) menunjukkan biodegradasi yang semakin tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa unit glukopiranosa bertindak sebagai gugus yang biodegradabel, dan sebaliknya,

bagian yang mengalami dikarboksilasi relatif resisten terhadap biodegradasi oleh mikrobia.

Gambar 7. Biodegradabilitas Dari Sagu Terdikarboksilasi (ST) Dan Asam Alginat Terdikarboksilasi (AT) Sebagai Fungsi Dari Derajat Dikarboksilasi.

Jika dibandingkan biodegradabilitas antara sagu dengan asam alginat, tampak bahwa biodegradabilitas AT pada derajat dikarboksilasi yang rendah menunjukkan biodegradabilitas yang relatif lebih tinggi dari pada ST. Namun pada derajat dikarboksilasi di atas 25%, biodegradabilitas AT lebih rendah dari pada ST. Oksidasi sebagian terhadap unit glukopiranosa yang menghasilkan gugus terdikarboksilasi pada ST dan AT berlangsung secara acak. AT tersusun dari rantai linier, dan pada derajat dikarboksilasi rendah menunjukkan biodegradasi yang sangat baik karena mikrobia dapat menggunakan blok-blok kopolimer yang mengandung unit glukopiranosa untuk metabolismenya. Namun pada derajat dikarboksilasi tinggi tampaknya mikrobia tidak dapat memanfaatkan unit glukopiranosa yang terletak secara bukan-blok di antara gugus-gugus dikarboksilat untuk metabolismenya.

Sagu sebagian besar tersusun dari amilopektin (70-80 %) yang mempunyai struktur bercabang (Chaplin, 2012). Pada ST dengan derajat dikarboksilasi rendah,

panjang dari blok kopolimer yang mengandung unit glukopiranosa diduga lebih pendek karena tersebar pada rantai-rantai percabangannya, sehingga biodegradasi ST pada derajat dikarboksilasi yang sama dengan AT menjadi lebih rendah. Di lain pihak, terjadinya degradasi pada amilopektin dapat menyebabkan terputusnya percabangan-percabangan, yaitu ikatan (1,6)-. Masing-masing ujung rantai yang baru dapat dikonsumsi oleh mikrobia sehingga pada derajat dikarboksilasi yang relatif tinggi pun, sampai 81 mol% pada polimer ST-11800(81), biodegradasi masih dapat berlangsung.

Dalam publikasi sebelumnya (Winursito, 2012), kami melaporkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada sifat biodegradasi di antara pati terdikarboksilasi yang berasal dari jagung, sagu dan tapioka. Dengan demikian, pada karbohidrat terdikarboksilasi dalam penelitian ini, tampaknya rantai polimer bercabang lebih berpeluang untuk mengalami biodegradasi dibanding rantai polimer dengan struktur linier.

KESIMPULAN

Dikarboksilasi terhadap pati sagu dan asam alginat menghasilkan polimer yang dapat larut dalam air. Sagu dan asam alginat terdikarboksilasi dengan derajat dikarboksilasi tinggi menunjukkan unjuk kerja builder dan kemampuan sekuestrasi ion yang baik. AT dengan derajat dikarboksilasi lebih dari 58-60 mol% mempunyai unjuk kerja builder dan kemampuan sekuestrasi ion kalsium yang lebih baik dari STPP pada basis berat yang sama. AT dengan derajat dikarboksilasi di atas 50 mol% secara praktis resisten terhadap biodegradasi, namun ST sampai derajat dikarboksilasi lebih dari 80 mol% masih bersifat biodegradabel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Prof. Shuichi Matsumura atas seluruh fasilitas, kesempatan dan bimbingan yang telah diberikan selama berlangsungnya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Briyanto, Arnelli, Suseno, A. 2009. Detergensi Natrium Dodesilbenzen Sulfonat dengan Penambahan Natrium Tripolifosfat dan Variasi pH. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Volume: 13. No: 2. Hal: 84-90. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Chaplin, M. 2012. Starch. <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>. (9 September 2013)
- Christianty, M. U. 2009. Produksi Biodegradable Plastic melalui Pencampuran Pati Sagu Termoplastis dan Compatibilized Linear Low Density Polyethylene. Tesis Master. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Indonesia.
- Conley, D.J., Paerl, H.W., Howarth, R.W., Boesch, D.F., Seitzinger, S.P., Havens, K.E., Lancelot, C., Likens, G.E. 2009. Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus. *Science*. Vol. 323, 1014-1015, 20 February 2009. American Association for the Advancement of Science (AAAS). USA.
- Draget, K.I., Taylor, C. 2011. Chemical, physical and biological properties of alginates and their biomedical implications. *Food Hydrocolloids*. Vol.: 25, Issue 2, Hal: 251-256. Elsevier. USA.
- Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev Bhat, Uthumporn, U., and Chew, S. H. 2011. Physical and mechanical properties of sago starch alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal* Vol: 18. No: 3. Hal.: 1027-1033. Faculty of Food Science and Technology. Universiti Putra Malaysia. Selangor. Malaysia.
- Jeffry. 2011. Eutrofikasi. <http://jeffri022.student.umm.ac.id/2011/04/12/eutrofikasi/>. (6 Maret 2013).
- Karim, A.A., Tie, A.P, Manan, D.M.A., Zaidul, I.S.M. 2008. Starch from the Sago - Properties, Prospects, and Challenges as a New Industrial Source for Food and Other Uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety (CRFSFS)*, Volume 7, Issue 3, pages 215-228. Institute of Food Technologists. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Margino, S., Martani, E., Budiman, A., Yanti, N.A., Gunaedi, T. 2009. Pengembangan Pati Sagu di Indonesia: Kajian Kerusakan dan Pemanfaatan untuk Produksi Bioplastik. Laporan Akhir Hasil Penelitian Hibah Pascasarjana Tahun Anggaran 2009. Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- OECD. 1981. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, 301C, *Modified MITI Test*. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- Rahman, A.A., Lelono, G.S. 2013. Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Menjadi Detergen Alami Melalui Kombinasi Reaksi Trans-esterifikasi dan Sulfonasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol: 2, No.: 2, Hal.: 84-90. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sari, F.A., 2009. Pengaruh Jenis Asam Pada Hidrolisis Pati Sagu (*Metroxylon* sp.) untuk Pembuatan Etanol. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Septiana, E., 2009. Formulasi dan Aplikasi Edible Coating Berbasis Pati Sagu dengan Penambahan Minyak Sereh pada Paprika (*Capsicum annum* var

- athena). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Winursito, I. 2012. Biodegradable and Water-Soluble Polycarboxylates Derived from Starch. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*. Vol. 28, No. 1, Hal.: 1-7. Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik. Yogyakarta.
- Winursito, I. 2013. Biodegradabilitas Polikarboksilat dari Asam Alginat dan Tapioka, *Jurnal Litbang Industri*, Vol. 3, No. 1, Hal: 39-47. Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang. Padang.
- Yanti, N.A., L. Sembiring, S. Margino. 2009. Bakteri Amilolitik Penghasil Bahan Dasar Bioplastik. *Prosiding Seminar Nasional Biologi XX dan Kongres Perhimpunan Biologi Indonesia XIV*, Malang, 24-25 Juli 2009. Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Malang. Malang.
- Yulianto, K. 2007. Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida Terhadap Viskositas Natrium Alginat yang Diekstrak dari *Sargassum duplicatum* J.G. Agardh (Phaeophyta). *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* (33): 295-306. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi : Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta
- Yunisa, S. 2007. Isolasi Asam Alginat dari Ganggang Coklat (*Sargassum crassifolium* J.Agard) Menggunakan Natrium Karbonat 7%. Skripsi. Fakultas Farmasi. Universitas Andalas. Padang.