



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor I Made Arcana

**POLIMER
YANG DAPAT TERBIODEGRADASI
DAN APLIKASINYA
(Biodegradable Polymers)**

26 November 2011
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**

26 November 2011

Profesor I Made Arcana

**POLIMER
YANG DAPAT TERBIODEGRADASI
DAN APLIKASINYA
(Biodegradable Polymers)**



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: POLIMER YANG DAPAT TERBIODEGRADASI DAN APLIKASINYA
(Biodegradable Polymers)
Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,
tanggal 26 November 2011.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis
Data katalog dalam terbitan

I Made Arcana

POLIMER YANG DAPAT TERBIODEGRADASI DAN APLIKASINYA
(Biodegradable Polymers)
Disunting oleh I Made Arcana

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2011
vi+58 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-8468-31-2

1. Kimia Fisik Material 1. I Made Arcana

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadapan Tuhan Yang Maha Kuasa, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan naskah pidato ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan anggota Majelis Guru Besar, Institut Teknologi Bandung, yang telah memberi kesempatan pada penulis untuk menyampaikan Pidato Ilmiah ini di hadapan majelis terhormat dan hadirin sekalian.

Materi yang akan disampaikan adalah perkembangan polimer yang dapat terbiodegradasi di alam (*Biodegradable Polymers*) dan aplikasinya. Pada bagian pertama akan dibahas mengenai karakteristik polimer yang dapat terbiodegradasi, sintesis poliester alifatik dan turunannya baik secara biosintesis maupun sintesis secara kimia. Pada bagian kedua akan dibahas mengenai modifikasi polimer melalui pembentukan poliblendnya dan pembentukan *oxo-biodegradable polymers*, serta pada bagian ketiga akan dibahas mengenai aplikasinya terutama untuk membran polimer elektrolit sel bahan bakar dan baterai litium.

Pidato ini merupakan bentuk pertanggungjawaban secara akademik dan komitmen penulis kepada masyarakat sebagai seorang yang baru menduduki jabatan Guru Besar. Besar harapan penulis, semoga buku yang sederhana ini dapat melengkapi dan memberikan manfaat bagi

kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang kimia polimer.

Bandung, 26 Nopember 2011

I Made Arcana

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. POLIMER YANG DAPAT TERBIODEGRADASI	2
2.1. Biosintesis	4
2.2. Sintesis Secara Kimia	4
2.2.1. Poli(R)- β -Hidroksibutirat	8
2.2.2. Kopolimer Turunan Poli(R)- β -Hidroksibutirat	10
2.2.3. Poli(Uretan-ester).....	13
3. MODIFIKASI POLIOLEFIN	19
3.1. Pembentukan Poliblend	19
3.1.1. Poliblend dari Polipropilen	19
3.1.2. Poliblend dari Polistiren	24
3.2. Oxo-Biodegradable Polymers	26
4. APLIKASI POLIMER BIODEGRADASI	28
4.1. Membran Polimer Elektrolit Sel Bahan Bakar	29
4.2. Membran Polimer Elektrolit Baterai Litium	35
5. PENUTUP	39
UCAPAN TERIMA KASIH	40
DAFTAR PUSTAKA	43
CURRICULUM VITAE	49

POLIMER YANG DAPAT TERBIODEGRADASI DAN APLIKASINYA (Biodegradable Polymers)

1. PENDAHULUAN

Material polimer yang umumnya dikenal sebagai plastik telah digunakan secara besar-besaran dalam banyak bidang kegiatan manusia, karena sifat-sifat plastik tersebut yakni; ringan, daya tahannya baik, sangat murah, tidak cepat rusak dan tahan terhadap bakteri dan jamur. Keunggulan tersebut di atas menimbulkan masalah ketika plastik menjadi bahan buangan, dimana terjadi polusi terhadap lingkungan (Gambar 1).



Gambar 1: Sampah plastik.

Beberapa cara telah digunakan untuk menurunkan terjadinya peningkatan sampah plastik yakni; dengan cara menimbun di bawah tanah atau membakarnya. Akan tetapi kedua metode tersebut menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Alternatif pemecahan paling populer adalah dengan cara daur ulang, dimana sampah plastik diproses kembali. Kesulitannya adalah sebelum didaur ulang plastik campuran harus dipisahkan terlebih dahulu menurut jenisnya, sehingga sifat-sifat dasar plastik tersebut sejenis. Selain itu hasil daur ulangnya memiliki kualitas yang lebih rendah dari pada plastik asalnya.

Kemudian cara alternatif terakhir yang sedang dikembangkan adalah dengan cara membuat material baru yang dikenal sebagai *New biodegradable polymer*, yaitu suatu bahan plastik yang mudah terdegradasi oleh mikroba (bakteri, jamur, dsb.) yang ada di alam atau dengan cara memodifikasi polimer yang telah ada, yang sukar terbiodegradasi (*non-biodegradable polymers*) melalui pembentukan kopolimer/poliblendnya dengan polimer yang dapat terbiodegradasi. Polimer yang mudah terdegradasi oleh mikro-organisme di alam biasanya mengandung ikatan yang mudah terhidrolisis. Ikatan dalam polimer yang bisa terhidrolisis baik oleh asam maupun oleh enzyme dari mikroorganisme mengandung gugus fungsi yang bersifat polar, seperti gugus ester, gugus amida, gugus eter, dan sebagainya.

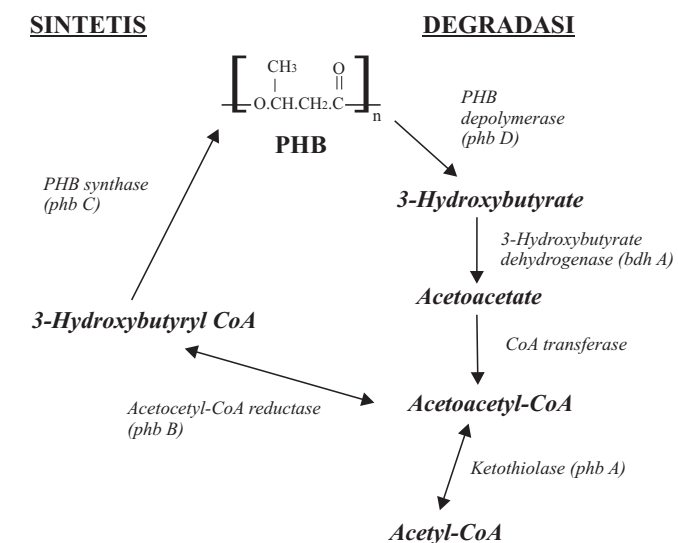
2. POLIMER YANG DAPAT TERBIODEGRADASI

2.1. BIOSINTESIS

Salah satu dari polimer tersebut yang telah dapat disintesis melalui biosintesis adalah poli(R)-β-hidroksibutirat (PHB) (Gambar 2). Poli(β-

hidroksibutirat) merupakan salah satu poli(β-hidroksialkanoat) yang dihasilkan oleh bakteri sebagai bahan karbon intraseluler dan sumber energi cadangannya. Polimer tersebut pertama kali ditemukan sekitar tahun 1920-an^(1,2). Poli(R-β-hidroksibutirat) natural tersebut merupakan polimer optis aktif (100 % isotaktik R), bersifat termoplastis dan mudah terdegradasi oleh bakteri-bakteri yang ada di alam⁽³⁾.

Dalam poliester tersebut sifat optis-aktif (R)-hidroksibutirat memegang peranan penting dalam kemampuan biodegradasinya, biokompatibilitasnya, dan sifat-sifat fisik lainnya. Strukturnya hampir sama dengan struktur polipropilen, memiliki konformasi kristalin helikoidal dan titik lelehnya di sekitar 180°C⁽⁴⁾. Akan tetapi PHB bakterial yang dihasilkan secara biosintesis harganya masih cukup mahal, tidak efisien dan sukar untuk memodulasikan struktur dan sifat-sifatnya.



Gambar 2: Biosintesis dan biodegradasi poli(R)-β-hidroksibutirat.

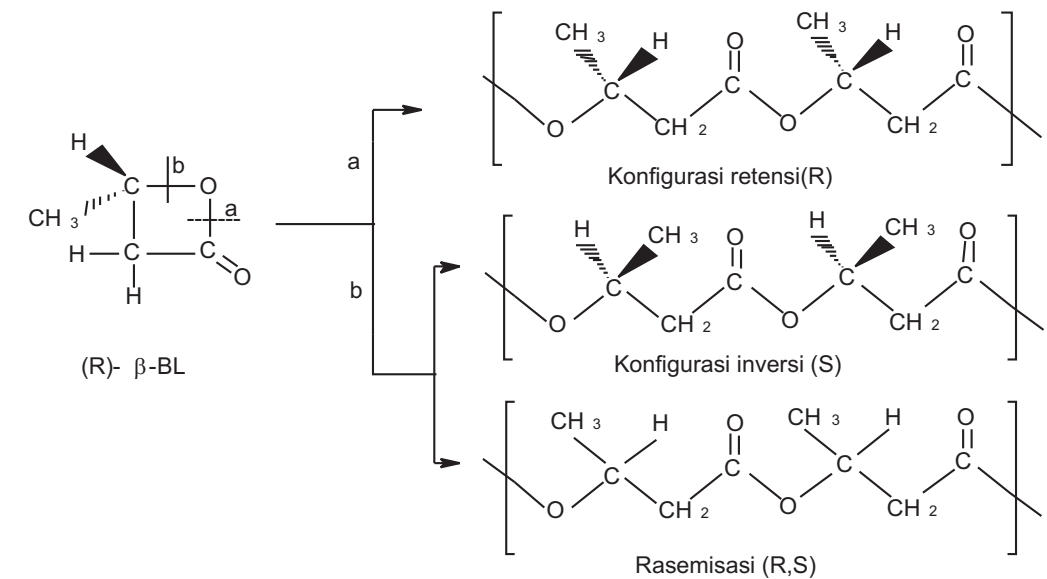
Oleh karena itu perlu mencari alternatif lain untuk mensintesis poliester tersebut. Salah satu alternatif yang sangat memungkinkan adalah sintesis secara kimia lewat pembukaan cincin dari beberapa senyawa siklik seperti senyawa lakton dengan menggunakan katalis tertentu.

2.2. SINTESIS SECARA KIMIA

Sintesis melalui cara kimia dari beberapa polimer dan khususnya pada sintesis homopolimer dan kopolimer yang melibatkan hidroksibutirat sebagai unit ulangnya telah banyak diteliti oleh beberapa grup penelitian. Hasil-hasil penelitian tersebut telah memperlihatkan bahwa kemampuan polimerisasi dari monomer-monomer heterosiklik dipengaruhi oleh besar kecilnya ukuran cincin, ada tidaknya grup heterofungsional, jenis dan sistem katalis yang digunakan serta kondisi reaksi⁽⁵⁾. Monomer β -Propiolakton sangat mudah dipolimerisasi untuk membentuk poli(β -propiolakton)⁽⁶⁾, akan tetapi penelitian tersebut telah dihentikan karena monomer tersebut telah menunjukkan sifat cancerinogen. Oleh karena itu polimerisasi lewat pembukaan cincin monomer β -Butirolakton (β -BL) telah menarik perhatian untuk diteliti lebih lanjut, karena dalam unit monomernya ada karbon asimetri. Pembukaan cincin dari monomer β -BL untuk membentuk polimer dapat terjadi melalui dua cara seperti terlihat pada Gambar 3.

Cara atau mode pembukaan cincin monomer pada polimerisasi

merupakan faktor yang menentukan stereokimia polimer. Pembukaan cincin β -BL dapat melalui pemutusan ikatan antara atom karbon karbonil dan atom oksigen (*Oxygen-Acyl Cleavage*) akan memberikan polimer dengan konfigurasi retensi (Cara a) atau pemutusan ikatan antara atom karbon- β dan atom oksigen akan menghasilkan polimer dengan konfigurasi inversi dan/atau rasemisasi (Cara b)⁽⁷⁾.



Gambar 3: Pembukaan cincin monomer (R)- β -butirolakton.

Dengan telah ditemukannya sifat-sifat dari PHB yang disintesis melalui biosintesis terutama dalam hal sifat kemampuan biodegradasinya, maka telah dikembangkan penelitian mengenai polimerisasi secara kimia melalui pembukaan cincin dari monomer-monomer lakton seperti (R)- β -BL, (S)- β -BL dan (R,S)- β -BL rasemik dengan bantuan suatu katalis

tertentu⁽⁵⁻¹⁶⁾. Adapun tujuan utamanya adalah untuk memperoleh suatu polimer kristalin dan bersifat optis aktif yang analog dengan sifat-sifat PHB yang dihasilkan oleh bakteri secara biosintesis. Monomer β -BL dan lakton non-substitusi seperti ϵ -Caprolakton dan δ -Valerolakton telah juga dikembangkan dalam *living-polymerization* dengan tujuan mensintesis kopolimer blok yang dapat memiliki sifat-sifat dan karakteristik tertentu⁽¹⁷⁻¹⁹⁾.

Beberapa katalis koordinatif dari organometalik dengan unsur dasar Zinc^(8,9) dan aluminium⁽⁸⁻¹⁰⁾ telah digunakan dalam polimerisasi pembukaan cincin lakton. Katalis tersebut memiliki ikatan metal-oksigen yang membedakannya dalam keaktifan katalitiknya. Salah satu jenis katalis tersebut yang kelihatannya lebih efektif khususnya dalam polimerisasi dari (R,S)- β -BL rasemik adalah katalis jenis aluminoksana yang diperoleh dengan mereaksikan $AlEt_3$ dengan air (Sistem katalis $AlEt_3/H_2O$). Dengan fraksinasi diperoleh dua jenis polimer dengan struktur yang berbeda yaitu polimer isotaktik (R dan/atau S) dengan berat molekul yang tinggi dan lainnya polimer ataktik dengan berat molekul rendah^(8,10). Sebaliknya, sistem katalis $ZnEt_2/H_2O$ menghasilkan hanya polimer ataktik amorf^(8,9). Penelitian yang sama melalui polimerisasi (R)- β -butirolakton enantiomer dengan katalis $ZnEt_2/H_2O$ terjadi pemutusan ikatan antara karbon karbonil dan atom oksigen (*O-Acyl Cleavage*) menghasilkan P(R)- β -HB dengan konfigurasi retensi^(12,13). Dalam polimerisasi monomer (R,S)- β -BL rasemik dengan katalis turunan Sn

dihasilkan polimer PHB sindiotaktik lebih dominan dengan dua jenis struktur kristalin yang berbeda⁽¹⁷⁾.

Dengan polimerisasi anionik menggunakan sistem katalis seperti kalium karboksilat atau kalium alkoksida^(14,15), pengontrolan reaksi polimerisasinya agak sulit karena tingginya keaktifan dari kalium, dan polimer PHB yang dihasilkan juga memiliki berat molekul rendah karena adanya reaksi sekunder seperti reaksi deprotonasi dan/atau reaksi transfer.

Berdasarkan hasil-hasil polimerisasi sebelumnya dengan sistem katalis yang telah digunakan tersebut pemilihan jenis atau sistem katalis distannoksan kompleks⁽²⁰⁾ dan sistem katalis tetraisobutildialuminoksan (TIBAO), diharapkan menghasilkan polimer PHB dengan berat molekul tinggi dengan karakteristik yang diharapkan seperti stereoregularitas, kristalinitas, dan sifat-fisik lainnya termasuk juga kemampuan biodegradasinya di lingkungan alami.

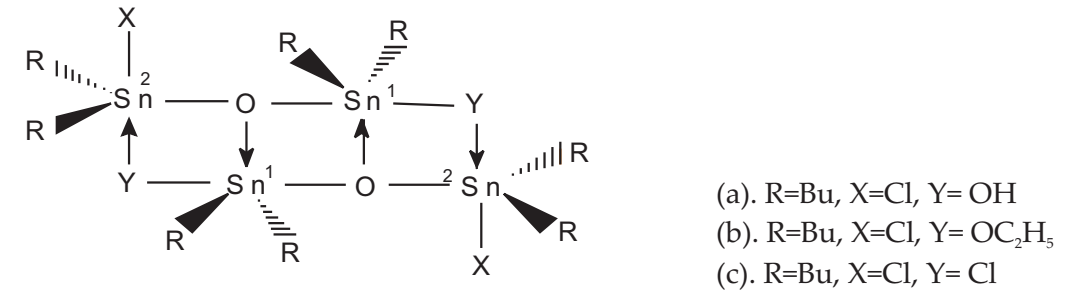
Studi mengenai degradasi enzimatik polimer melibatkan pengetahuan sejumlah aspek fundamental dari sistem enzim dan jenis substrat. Dalam hal enzim, beberapa faktor seperti identitas dan lokasi pusat aktif termasuk kondisi optimal untuk aktivitas secara fisiologi yang mencakup temperatur dan pH merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan. Sebagai substrat, morfologi, aksesibilitas, dan mobilitas dari sigmen rantai dengan konfigurasi yang cocok dan sesuai dengan penyerangan enzim adalah faktor utama yang menentukan besarnya

degradasi yang akan terjadi.

Beberapa hasil penelitian memperlihatkan bahwa fraksi PHB dengan kristalin rendah terhidrolisis lebih cepat dibanding fraksi PHB isotaktik dengan kristalin lebih tinggi dengan adanya enzim PHB depolimerase dari *A. Faecalis*^(21,22). Film P-(S)-HB isotaktik tidak dapat terdegradasi oleh PHB depolimerase. Hal ini menunjukkan bahwa enzim tidak dapat menghidrolisis rangkaian unit (S)-HB. Fraksi PHB rasemik dengan kristalin rendah (fraksi diad isotaktik (i) = 55 – 60 %) memperlihatkan laju degradasi enzimatik lebih tinggi dibanding untuk PHB rasemik dengan kristalin lebih tinggi, baik yang mengandung struktur kristal isotaktik maupun sindiotaktik lebih dominan⁽²³⁾.

2.2.1. P(R,S)-β-HIDROKSIBUTIRAT (PHB)

PHB rasemik dapat disintesis melalui polimerisasi pembukaan cincin monomer (R,S)-β-butirolakton dengan menggunakan katalis distanoksan kompleks (Gambar 4), dan pengaruh stereokimia dan morfologi polimer terhadap kemampuan degradasi enzimatik polimer dalam lumpur aktif (*active sludge*) telah juga diobservasi. Test biodegradasi sampel polimer ditentukan melalui banyaknya oksigen yang dibutuhkan secara biokimia (%BOD) selama proses degradasi berlangsung dalam lumpur aktif.



Gambar 4: Struktur katalis distanoksan kompleks.

Tabel 1:

Hasil test biodegradasi dan beberapa sifat termal PHB hasil sintesis dan PHB bakterial.

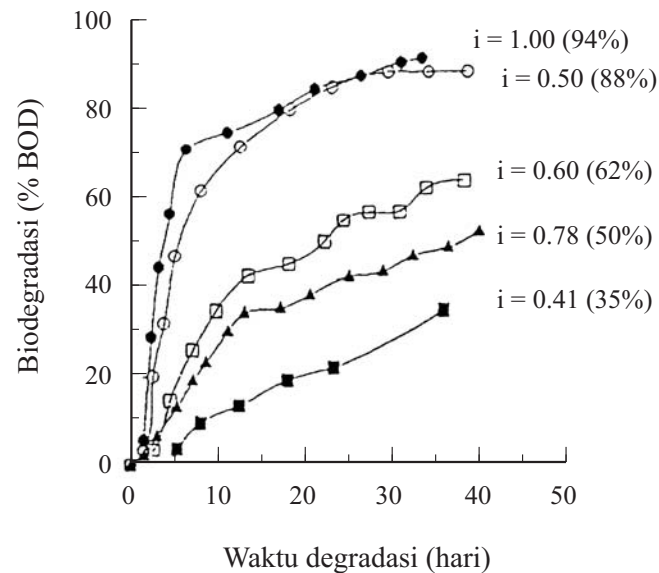
No	Fraksi Diad (i)	Tm (°C)	ΔHm (J/g)	Mw	Biodegradasi % BOD
1 ^{a)}	0,41	42 75	2,3 11,4	24.700	35
2 ^{c)}	0,50	-	-	18.900	88
3 ^{c)}	0,60	96 166	65,3 3,8	34.100	62
4 ^{c)}	0,78	166	30,0	39.300	50
5 ^{b)}	1,00	179	67,0	154.200	94

^{a)} Disintesis dengan katalis distanoksan, ^{b)} P(R)-HB bakterian,

^{c)} Disintesis dengan katalis aluminoksan

Kristalinitas dan stereoregularitas struktur (R) polimer merupakan parameter yang penting dalam proses biodegradasi polimer. Polimer PHB hasil sintesis dengan struktur ataktik (fraksi diad isotaktik = 0,50) memperlihatkan kemampuan biodegradasi lebih tinggi dari PHB sintesis lainnya, akan tetapi sedikit lebih rendah dibandingkan kemampuan biodegradasi P(R)-HB natural (Tabel 1). Sedangkan PHB sintesis dengan

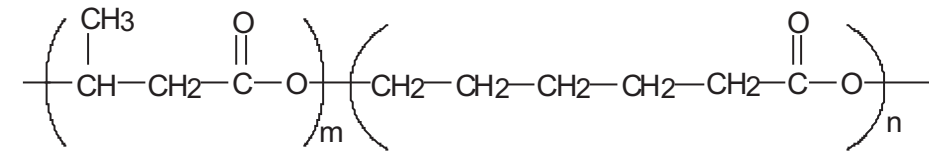
struktur isotaktik lebih dominan dengan $(i) = 0,79$ memperlihatkan kemampuan biodegradasi lebih rendah akibat tingginya kristalinitas, dan PHB sintesis dengan struktur sindiotaktik lebih dominan dengan $(i) = 0,41$ hasil biodegradasinya sangat rendah akibat tingginya kristalinitas dan rendahnya isotaktisitas struktur (R) (Gambar 5)^(24,25).



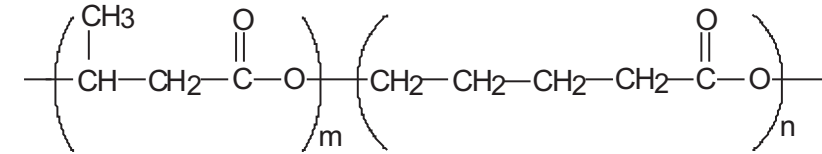
Gambar 5: Biodegradasi PHB pada berbagai fraksi diad isotaktik R.

2.2.2. KOPOLIMER TURUNAN P(R,S)-β-HIDROKSIBUTIRAT

Hasil sintesis kopolimernya P(HB-co-CL) dan P(HB-co-VL) menunjukkan bahwa komposisi komonomer dalam kopolimer hampir identik dengan komposisi awal monomer yang digunakan, dan berat molekulnya cenderung terjadi peningkatan dengan meningkatnya komposisi monomer ε-CL atau δ-VL (Gambar 6 dan 7).

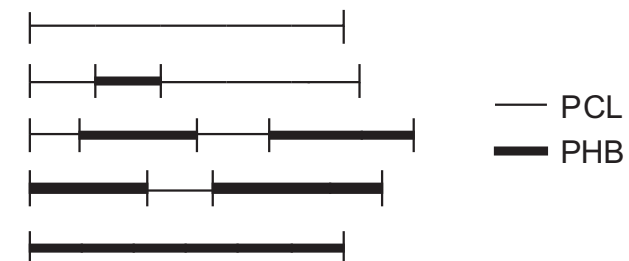


Gambar 6: Struktur kopolimer P(HB-co-CL).



Gambar 7: Struktur kopolimer P(HB-co-VL).

Dari analisis struktur dan rasio kereaktifan monomer dapat diperkirakan bahwa kopolimer hasil sintesis tersusun dari campuran homopolimer dan kopolimer blok yang kompatibel dengan ukuran blok bervariasi, sesuai dengan mekanisme pembentukan kopolimer sebagai berikut:

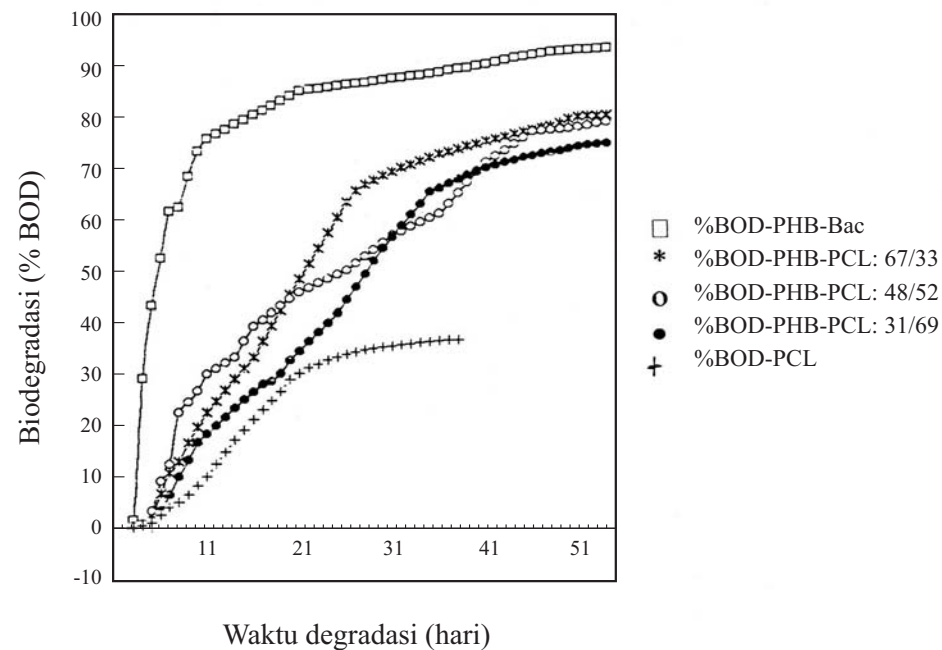


Gambar 8: Mekanisme pembentukan kopolimer P(HB-co-CL).

Pada awal kopolimerisasi kopolimer yang terbentuk tersusun dari

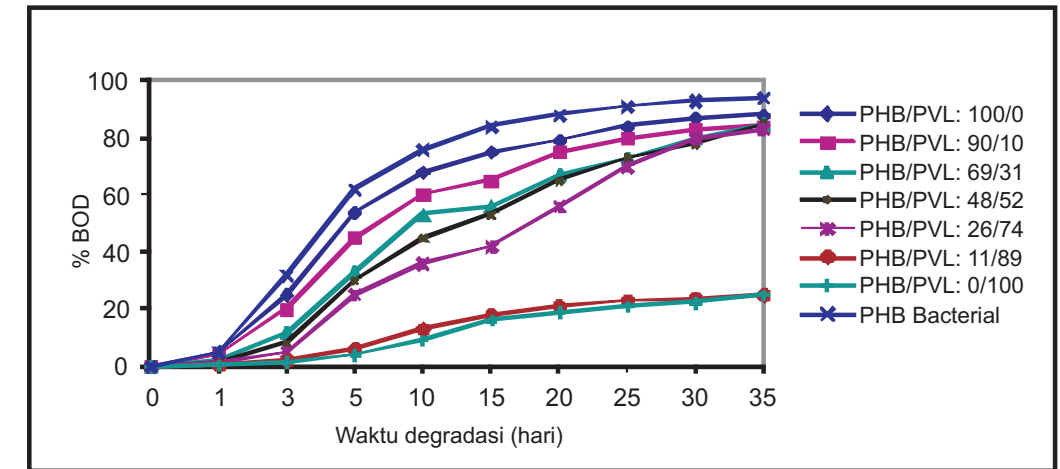
blok PCL yang panjang, kemudian dengan meningkatnya waktu polimerisasi komposisi monomer CL menurun dan akhirnya terbentuk blok PHB (Gambar 8). Interpretasi ini didukung oleh hasil analisis struktur (RMN ^1H dan ^{13}C) dan termal (DSC) yang menunjukkan bahwa kopolimer hasil sintesis merupakan campuran polimer yang kompatibel.

Laju awal dan kemampuan biodegradasi untuk kopolimer P(HB-co-CL) dan P(HB-co-VL) sangat dipengaruhi oleh struktur dan besarnya kristalinitas. Biodegradabilitas dan laju awal biodegradasi untuk kedua kopolimer cenderung menurun dengan bertambahnya komposisi unit CL atau VL dalam kopolimer (Gambar 9 dan 10).



Gambar 9: Biodegradasi P(HB-co-CL) pada berbagai komposisi.

Semua kopolimer P(HB-co-CL) dan P(HB-co-VL) yang disintesis dengan menggunakan katalis distanoksan masing-masing dapat terbiodegradasi maksimal sekitar 88% selama waktu 35 hari. Kemampuan biodegradasi kopolimer tersebut lebih tinggi dibandingkan masing-masing homopolimernya (PHB, PCL, dan PVL), akan tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan biodegradabilitas P(R)-HB natural hasil biosintesis⁽²⁶⁾.



Gambar 10: Biodegradasi P(HB-co-VL) pada berbagai komposisi.

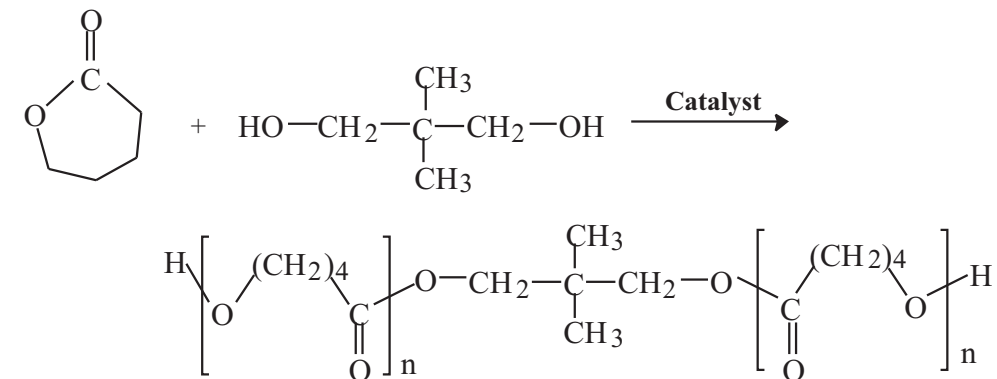
2.2.3. POLI(URETAN-ESTER)

Poliuretan adalah salah satu polimer sintetik yang banyak digunakan dalam berbagai bidang aplikasi seperti untuk bahan baku busa, bahan pengemas, dalam bidang biomedik (bahan pelindung muka, kantung darah, dsb), perlengkapan rumah tangga maupun juga untuk keperluan

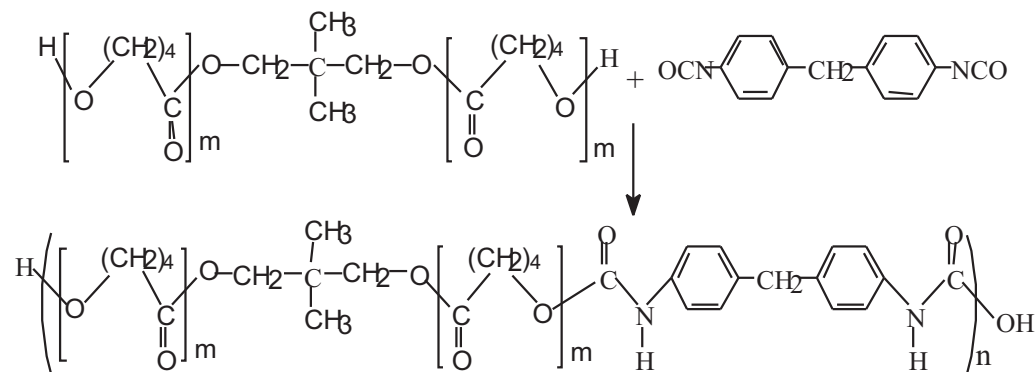
otomotif (tempat duduk, bagian badan mobil, bumper, dsb). Poliuretan merupakan bahan polimer yang mengandung gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam rantai utamanya. Gugus fungsi uretan dapat terbentuk melalui polimerisasi kondensasi senyawa dengan gugus isosianat dengan senyawa yang memiliki gugus hidroksil atau antara senyawa diisosianat dengan senyawa polimer/oligomer yang mengandung sejumlah gugus hidroksil^(27,28). Beberapa jenis polimer yang digunakan untuk pembentukan poliuretan dapat berupa polieter ataupun poliester. Polieter yang dapat digunakan sebagai polioliol dalam sintesis poliuretan adalah politetrametilen glikol, polietilen glikol, dan polipropilen glikol, sedangkan poliester yang umum digunakan pada pembentukan poliuretan adalah poliester yang mengandung gugus hidroksil terminal, diantaranya polietilen adipat, polipropilen adipat, dan gliserol adipat^(28,29). Kereaktifan senyawa diisosianat ditentukan oleh gugus alkil yang terdapat pada senyawa diisosianat, dan gugus ini sangat mempengaruhi karakteristik poliuretan yang dihasilkan. Diisosianat aromatik bersifat lebih reaktif terhadap hidroksil pada pembentukan poliuretan dibandingkan diisosianat alifatik⁽³⁰⁾. Beberapa senyawa diisosianat yang biasa digunakan untuk sintesis poliuretan adalah heksametilen-1,6-diisosianat (HMDI), difenilmetan-4,4-diisosianat (MDI), dan toluenil-2,4-diisosianat (TDI). Poliuretan hasil polimerisasi senyawa diisosianat aromatik seperti MDI dan TDI mempunyai struktur molekul yang keras dan kaku, serta memiliki sifat termal dan sifat mekanik yang tinggi⁽³¹⁾.

Pada pembentukan poli(uretan-ester) telah difokuskan melalui reaksi polimerisasi kondensasi antara segmen propandiol-lakton (DP-CL, DP-VL) atau asam risinoleat dari minyak kelapa sawit (atau bahan alam lainnya) sebagai bahan dasar polioliol dengan senyawa diisosianat aromatik (MDI).

Dalam pembuatan prepolimer atau kopolimer dari P(CL-DP) atau P(VL-DP) disiapkan melalui polimerisasi pembukaan cincin antara monomer ϵ -caprolactone (ϵ -CL) atau δ -valerolactone (δ -VL) dan 2,2-dimetil-1,3-propandiol (DP) dalam berbagai komposisi monomer dengan menggunakan katalis distanoksan kompleks (Gambar 11), kemudian diikuti dengan sintesis poli(uretan-ester) melalui reaksi antara prepolimer P(CL-DP) atau P(VL-DP) dengan 4,4'-metilen-bis (fenil isosianat) (MDI) tanpa katalis pada suhu 100 °C dengan rasio mol -NCO dari MDI dan -OH dari kopolimer sebesar 1/1 (Gambar 12).



Gambar 11: Pembentukan prepolimer P(VL-DP) dari DP dan (δ -VL).



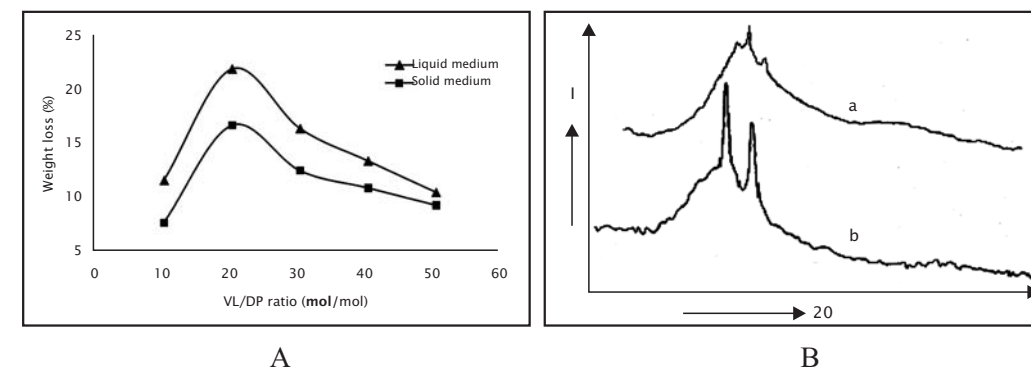
Gambar 12: Reaksi pembentukan poli(uretan-ester) dari prepolimer P(VL-DP) dengan MDI.

Berdasarkan analisis struktur, prepolimer P(CL-DP) atau P(VL-DP) dari 2,2-dimetil-1,3-propanediol dan (ϵ -CL) (atau δ -VL) memiliki struktur rantai linier dengan berat molekul bervariasi bergantung pada komposisi CL/DP (atau VL/DP) yang digunakan. Titik leleh prepolimer P(CL-DP) atau P(VL-DP) meningkat dengan meningkatnya rasio (ϵ -CL) (atau δ -VL) yang digunakan dalam polimerisasi, sedangkan bilangan hidroksinya berkurang.

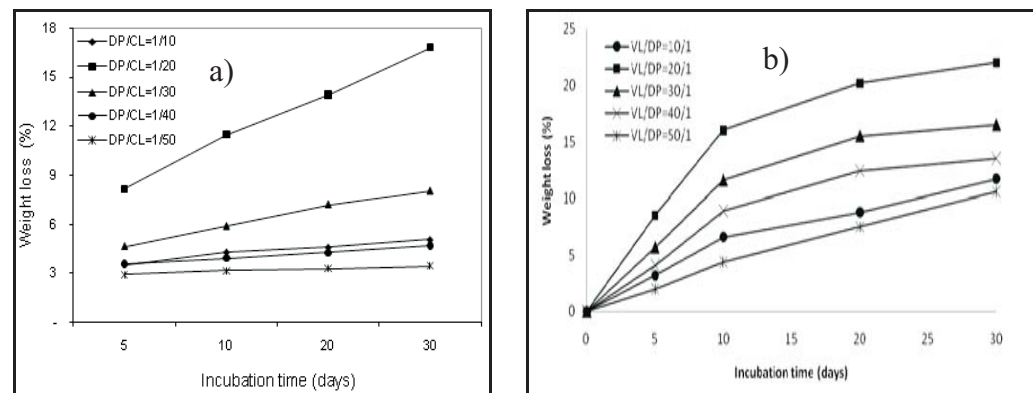
Polimerisasi antara prepolimer P(CL-DP) atau P(VL-DP) dengan MDI tanpa katalis pada suhu 100°C menghasilkan poli(uretan-ester), yang ditunjukkan dengan hilangnya gugus fungsional -OH yang ada di ujung rantai dari P(CL-DP) atau P(VL-DP) setelah reaksi dengan MDI, dan munculnya gugus fungsi uretan (-NH-) dan gugus fungsional cincin aromatik. Sifat termal dan kristalinitas dari poli(uretan-ester) meningkat secara signifikan dengan meningkatnya panjang rantai prepolimer P(CL-

DP) atau P(VL-DP) yang digunakan pada polimerisasi dengan MDI. Akan tetapi, sifat mekanik maksimum diamati pada poli(uretan-ester) yang diperoleh pada polimerisasi 4,4'-metilen-bis(fenil isosianat) (MDI) dan prepolimer P(CL-DP) dengan komposisi DP/CL sebesar 1/20 dan untuk prepolimer P(VL-DP) dengan komposisi DP/VL sebesar 1/30.

Poli(uretan-ester) yang dibuat melalui polimerisasi MDI dan prepolimer P(CL-DP) atau P(VL-DP) dengan DP/CL (atau DP/VL) sebesar 1/20 mengalami hidrolisis dengan penurunan persentase berat lebih tinggi daripada polimer lainnya pada kedua media pertumbuhan yakni media padat dan media cair (Gambar 13A dan 14). Mikroorganisme dalam lumpur aktif lebih mudah menyerang pada daerah amorf dari matriks polimer, karena pada bagian amorf dari polimer lebih mudah diakses oleh enzim mikroorganisme dari pada bagian kristalin setelah waktu inkubasi 30 hari (Gambar 13B) ^(32,33).



Gambar 13: Gambar 13 A). Biodegradabilitas poli(uretan-ester) selama inkubasi 30 hari pada medium padat dan cair, B). Difraktogram XRD untuk poli(uretan-ester) a). Sebelum biodegradasi dan b). Setelah biodegradasi selama 30 hari.



Gambar 14: Biodegradabilitas selama inkubasi 30 hari pada medium cair untuk poli(uretan-ester) a). CL/DP dan b). VL/DP.

Pada saat ini juga sedang dilakukan penelitian mengenai pembuatan poliuretan dengan memanfaatkan minyak kelapa sawit melalui modifikasi dan pemurnian minyak kelapa sawit pada berbagai parameter sehingga diperoleh prepolimer/poliol sebagai bahan dasar pembuatan poliuretan, dan tahap berikutnya dilanjutkan dengan sintesis poliuretan dari prepolimer yang telah dihasilkan dengan senyawa turunan diisosiyanat pada berbagai parameter seperti panjang rantai prepolimer, jenis senyawa diisosiyanat, dan komposisinya. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh *new biodegradable polymers* dengan karakteristik yang cukup baik dari bahan dasar minyak kelapa sawit, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, ramah lingkungan, biaya yang murah, serta aman digunakan.

3. MODIFIKASI POLIOLEFIN

3.1 PEMBENTUKAN POLIBLEND

Metode alternatif yang dikembangkan untuk untuk mendapatkan bahan plastik yang dapat terbiodegradasi di alam adalah melalui modifikasi bahan plastik yang telah ada yang sukar terbiodegradasi melalui pencampuran dengan bahan plastik yang dapat terbiodegradasi. Masalah utama dalam pencampuran dua jenis polimer adalah kompatibilitas antara dua jenis polimer yang dicampur, karena kedua jenis polimer umumnya memiliki karakteristik yang berbeda terutama sifat polaritasnya. Polimer yang sukar terbiodegradasi seperti poliolefin (polipropilen dan polistiren) tidak memiliki gugus fungsi yang bersifat polar, sedangkan polimer yang dapat terbiodegradasi dengan mudah seperti polilakton dan biopolimer memiliki gugus fungsi yang bersifat polar atau jenis ikatan yang dapat terhidrolisis seperti ikatan ester, amida, eter, dan sebagainya. Untuk itu sebelum dibentuk poliblend, poliolefin perlu dimodifikasi terlebih dahulu agar dalam struktur rantainya ada gugus fungsi atau ikatan yang bersifat polar baik melalui reaksi oksidasi-reduksi ataupun substitusi gugus fungsi seperti gugus sulfonat.

3.1.1 POLIBLEND DARI POLIPROPILEN

Polipropilen merupakan salah satu polimer termoplastik yang telah diproduksi secara komersial sebagai bahan plastik, akan tetapi sangat inert terhadap zat kimia dan sukar terbiodegradasi oleh mikroorganisme

di alam⁽³⁴⁾. Polipropilen dengan konfigurasi isotaktik memiliki kristalinitas tinggi, bersifat kaku, keras, dan mudah patah. Sebaliknya polipropilen dengan konfigurasi ataktik memiliki sifat mekanik rendah, kurang stabil, lunak, dan elastis^(35,36). Dengan pengaturan komposisi polipropilen ataktik dalam produk resin polipropilen dapat meningkatkan kenampakan dan sifat polipropilen secara keseluruhan. Kopolimer dari monomer propilena dan etilena ternyata memiliki sifat termal dan sifat mekanik lebih rendah dari homopolimer polipropilen, akan tetapi lebih transparan, tidak mudah pecah dan bersifat lebih elastis⁽³⁷⁻³⁹⁾. Untuk meningkatkan kualitas sifat-sifat polipropilen telah dilakukan penambahan beberapa jenis aditif ke dalam matrik polimer. Beberapa aditif yang telah digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat polipropilen umumnya merupakan zat penstabil saat proses (*Processing stabilizer*), antioksidant, dan aditif lainnya seperti pelicin, anti-blok, dan anti slip⁽⁴⁰⁾.

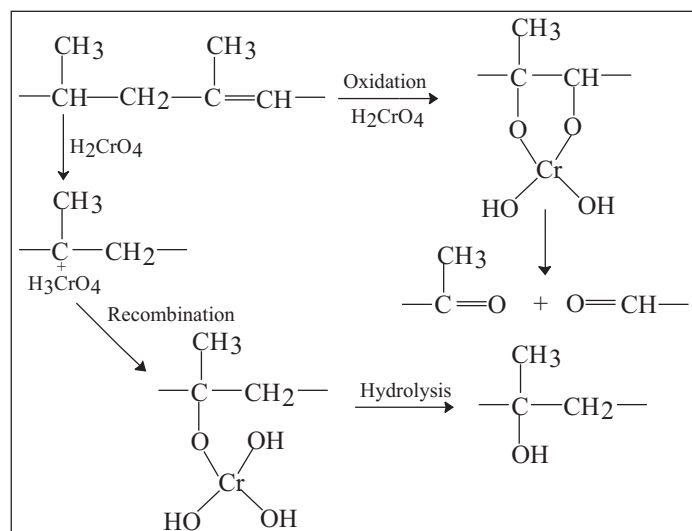
Pembentukan poliblend yang homogen dan kompetibel antara polipropilen dengan polimer lainnya agak sulit dilakukan karena ketidaksesuaian antara dua polimer. Penambahan gugus polar pada poliolefin dapat meningkatkan adhesi poliolefin untuk kebanyakan bahan⁽⁴¹⁾. Dengan penambahan beberapa anhidrida maleat dalam campuran polipropilen (PP) dan LCP (Liquid crystal polyester), kekuatan mekanik campuran meningkat secara signifikan⁽⁴²⁾. Interaksi campuran PP dan poli(etilena tereftalat) (PET) juga meningkat dengan penambahan asam akrilat⁽⁴³⁾. Adanya gugus fungsi kimia seperti karbonil dan gugus hidroksil sangat berperan untuk meningkatkan interaksi tersebut dalam suatu

poliblend. Untuk meningkatkan sifat polipropilen serta sifat biodegradasinya telah dilakukan melalui pembentukan poliblendnya dengan poliester.

Penambahan aditif yang berupa zat pengoksidasi seperti senyawa kromat dan senyawa peroksida bertujuan agar sebagian rantai polipropilen mengalami oksidasi membentuk gugus fungsi baru yang bersifat lebih polar seperti gugus hidroksida atau gugus karbonil, sehingga polipropilen dapat berinteraksi dengan polimer lain yang mengandung gugus fungsi yang bersifat polar membentuk campuran polimer yang homogen dan kompatibel.

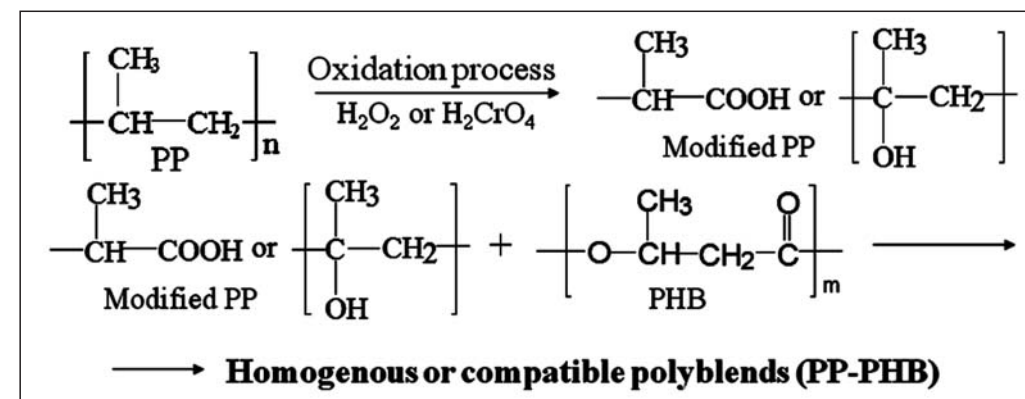
Penggunaan polilakton sebagai polimer yang mudah terbiodegradasi seperti poli(R,S- β -hidroksibutirat) dan poli- ϵ -kaprolakton serta penggunaan biopolimer seperti amilosa dan selulosa digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat polipropilen melalui proses pencampuran menghasilkan suatu polimer baru yang mudah terbiodegradasi di alam (*New biodegradable polymers*).

Hasil analisis gugus fungsi pada spektra FTIR memperlihatkan bahwa penambahan reagen pengoksidasi pada polipropilen seperti asam kromat, hidrogen peroksida, dan dikumil peroksida pada polipropilen menyebabkan terjadi perubahan pada rantai polimer, yang dibuktikan dengan meningkatnya intensitas serapan gugus hidroksil dan karbonil yang masing-masing muncul pada bilangan gelombang 3435 cm^{-1} dan 1724 cm^{-1} .



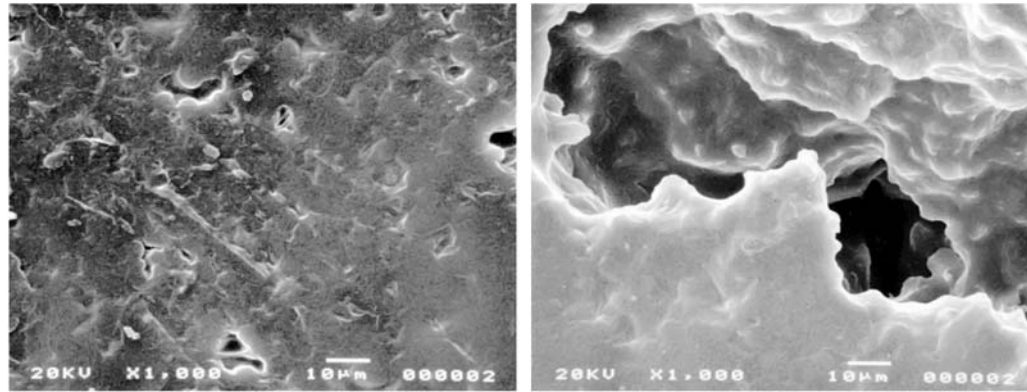
Gambar 15: Mekanisme pembentukan gugus karbonil pada rantai polipropilen melalui oksidasi dengan menggunakan asam kromat.

Hasil oksidasi polipropilen menggunakan asam kromat dan hidrogen peroksida teramati terjadi penurunan kristalinitas, sifat mekanik dan sifat termal polimer yang dapat disebabkan karena terjadi pemutusan rantai utama polipropilen, yang ditunjukkan dengan penurunan berat molekul atau viskositas polimer (Gambar 15). Penurunan berat molekul polipropilen dapat disebabkan karena adanya degradasi secara termal rantai polimer selama proses oksidasi berlangsung pada temperatur tinggi. Sebaliknya dengan penambahan dikumul peroksida menyebabkan terjadi peningkatan sifat-sifat polipropilen seperti kristalinitas, sifat termal dan sifat mekanik polimer. Peningkatan sifat-sifat polipropilen tersebut dapat disebabkan oleh adanya ikatan silang rantai polimer sebagai akibat oksidasi terjadi pada polimer menghasilkan radikal bebas.



Gambar 16: Reaksi pembentukan poliblend (PP-PHB).

Pada poliblend PP-PCL dan PP-PHB, analisis gugus fungsi dari spektra FTIR menunjukkan adanya kombinasi dan pergeseran puncak serapan karakteristik untuk PP dan PCL atau PHB, sebagai akibat adanya interaksi antara ke dua komponen pada poliblend. Hasil ini didukung oleh hasil analisis sifat termal dan kristalinitas yang menunjukkan sebagian PP dan PCL atau PHB dapat membentuk poliblend yang homogen dan kompatibel (Gambar 16). Tingginya kristalinitas dan sifat mudah patah dari PCL atau PHB menyebabkan terjadi penurunan sifat mekanik poliblend dengan meningkatnya PCL atau PHB pada poliblend. Maksimum kristalinitas dan sifat mekanik dari poliblands PP-PHB ditemukan pada rasio PP/PHB 90/10 (b/b), dan kemudian menurun dengan meningkatnya rasio PHB pada poliblands. Biodegradabilitas poliblend PP-PCL atau PP-PHB lebih rendah dari biodegradabilitas PCL atau PHB karena hanya PCL atau PHB dan sebagian poliblend yang kompatibel terbiodegradasi oleh mikroorganisme (Gambar 17)^(44,45).



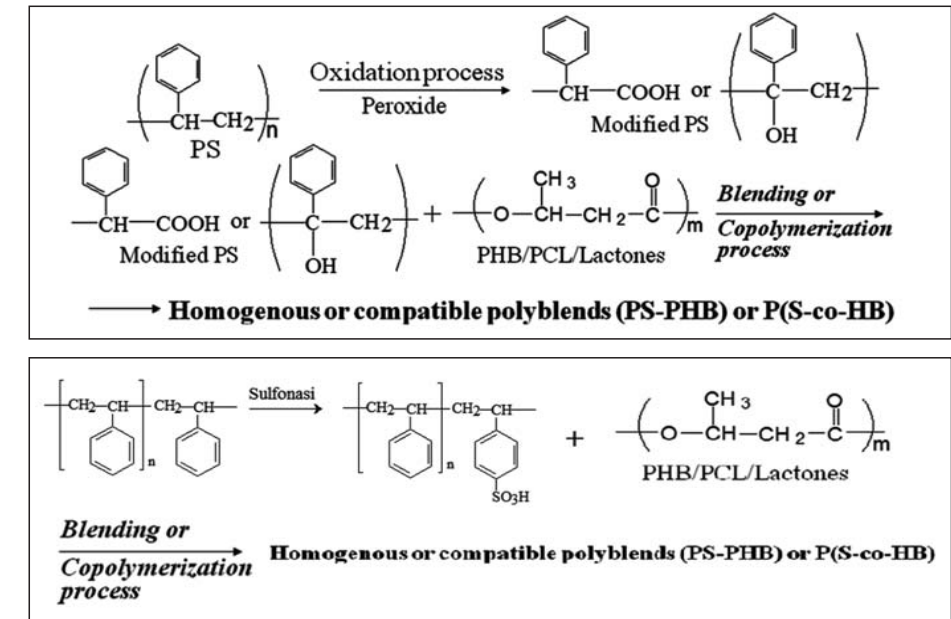
A

B

Gambar 17: Photo permukaan poliblend (SEM) dengan pembesaran 1000X A). Sebelum test biodegradasi dan B). Setelah test biodegradasi selama 30 hari.

3.1.2 POLIBLEND DARI POLISTIREN

Pada saat ini juga sedang dikembangkan pembentukan poliblend dari polistiren dengan polilakton (PHB dan PCL) dan berbagai biopolimer seperti selulosa, amilosa, dan kitosan dengan tujuan memodifikasi sifat-sifat polistiren terutama sifat biodegradabilitasnya di alam. Telah diketahui bahwa polistiren merupakan salah satu bahan plastik yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi, disamping karena polistiren bersifat termoplastik, stabilitas termalnya relatif tinggi dan mudah pemrosesannya, juga karena harganya relatif murah. Pada saat ini penggunaan polistiren sebagai bahan plastik semakin meningkat, akan tetapi sampah plastik dari polimer sintetik tersebut menjadi masalah yang sangat serius bagi lingkungan, karena tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam.



Gambar 18: Reaksi pembentukan poliblend (PS-PHB).

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa poliblend PS/PCL (80/20) kurang homogen dibanding poliblend PSS/PCL (80/20), karena PS bersifat kurang polar jika dibandingkan dengan PCL, sehingga saat pelarutan PS dan PCL tidak dapat saling campur dengan baik. Poliblend PSS/PCL (80/20) yang terbentuk sangat homogen dan kompatibel, karena PSS yang digunakan mengandung gugus polar (gugus sulfonat) (Gambar 18). Semakin banyak PCL dalam poliblend, poliblend PSS/PCL terlihat semakin homogen. Akan tetapi semakin banyak komposisi PCL dalam poliblend, membran poliblend semakin rapuh. Hasil yang sama terjadi pada poliblend PSS-PHB. Pada saat ini sedang dilakukan pengujian mengenai biodegradabilitas poliblend PSS-PCL dan PSS-PHB dalam lumpur aktif.

3.2 OXO-BIODEGRADABLE POLYMER

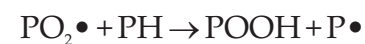
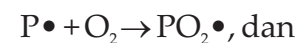
Plastik yang dapat terbiodegradasi (Biodegradable plastics) termasuk polimer berbasis biopolimer seperti pati dan poliesters, dirancang terjadi pemutusan rantai polimer oleh mikroorganisme menghasilkan produk organik yang tidak membahayakan lingkungan. Sedangkan Oxo-biodegradable polymers yaitu polimer dengan penambahan aditif pro-degradasi seperti aditif pro-oksidan, dirancang terjadi degradasi melalui reaksi oksidasi-reduksi akibat pengaruh panas dan sinar UV, kemudian diikuti dengan proses biodegradasi oleh mikroorganisme, sehingga polimer dapat terdegradasi di alam dengan lebih mudah, meskipun masih terdapat ketidakpastian mengenai waktu yang diperlukan untuk mendegradasi polimer secara sempurna (Gambar 19)⁽⁴⁶⁾.

Tahapan reaksi yang terjadi dalam proses degradasi polimer:

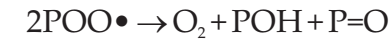
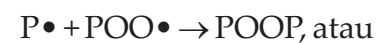
Reaksi inisiasi:



Reaksi Propagasi (Reaksi pemutusan rantai):



Reaksi Terminasi:



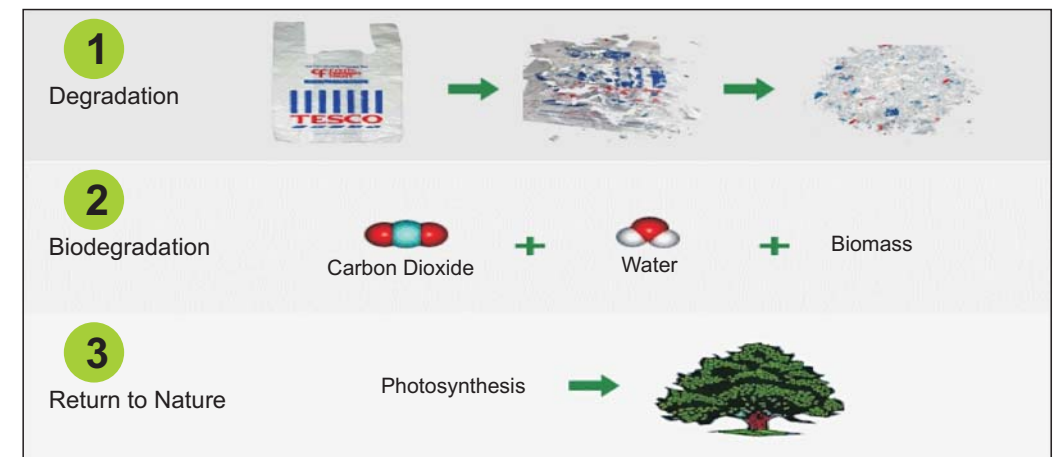
Adanya spesi $PO\bullet$ dapat menghasilkan produk intermediet yang dapat terbiodegradasi dengan reaksi:



Fungsi ion logam transisi dalam aditif pro-oksidan seperti kobalt stearat adalah mengkatalisis dekomposisi gugus hidrogen peroksida, akan tetapi tidak ikut terlibat pada katalisis pemutusan rantai polimer. Sebagai contoh ion besi dapat mengkatalisis penguraian polimer melalui dua cara yakni:



Reaksi di atas merupakan contoh pasangan reaksi redoks, dimana suatu logam transisi seperti besi dapat mengalami dua keadaan reaksi yakni reaksi oksidasi dan reduksi.



Gambar 19: Reaksi penguraian *oxo-biodegradable plastic*.



Gambar 20: Aditif pro-oksidan TDPA.

Aditif pro-oksidan seperti TDPA (*Thiodipropionic acid*) yang digunakan saat ini masih diimport dari luar dan harganya relatif masih mahal (Gambar 20). Untuk itu dalam penelitian *oxo biodegradable polymer* sedang dilakukan analisis aditif pro-oksidan komersial seperti TDPA dan aplikasinya pada beberapa jenis polimer seperti polipropilen dan polistiren, dan pada saat bersamaan juga sedang dilakukan pembuatan aditif pro-oksidan dari beberapa jenis logam transisi multivalen seperti besi, kobalt, dan mangan melalui pembentukan senyawa kompleks dengan menggunakan senyawa organik seperti asam stearat dan asam suksinat.

4. APLIKASI POLIMER BIODEGRADASI

Polimer yang dapat terbiodegradasi (*Biodegradable polymers*) dapat digunakan pada berbagai aplikasi. Disamping telah digunakan sebagai

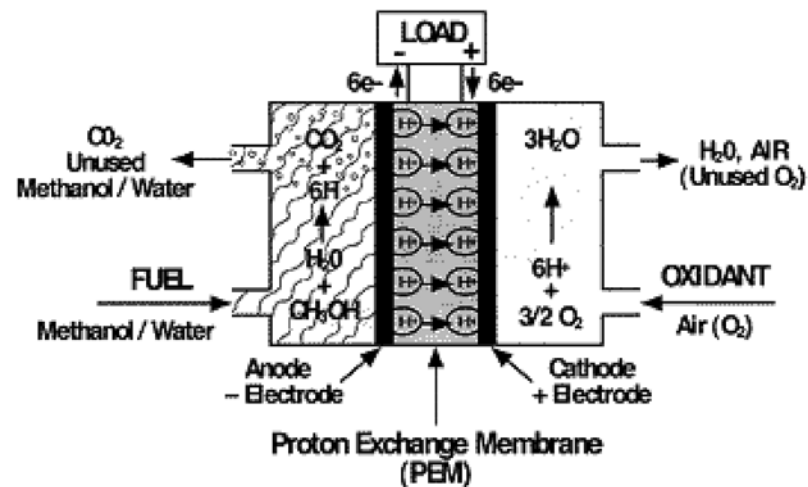
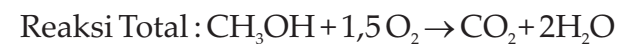
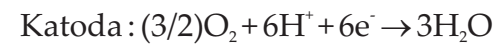
bahan pengemas, polimer yang dapat terbiodegradasi telah digunakan juga pada bidang pertanian, farmasi dan kedokteran, serta berbagai aplikasi lainnya seperti membran polimer elektrolit.

4.1. MEMBRAN POLIMER ELEKTROLIT SEL BAHAN BAKAR

Sel bahan bakar dengan membran polimer elektrolit (*Polymer electrolyte membrane, PEM*) merupakan suatu sel bahan bakar yang menarik, efisien dan merupakan sumber energi yang ramah lingkungan. Sel bahan bakar yang menggunakan gas hidrogen (PEMFC) atau metanol sebagai bahan bakarnya (*Direct methanol fuel cell, DMFC*) sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai sumber listrik pada alat transportasi, sumber energi untuk perumahan, serta sumber energi untuk peralatan yang *portable*. *Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)* merupakan salah satu sistem elektrokimia yang menjanjikan dimana mempunyai keunggulan dibandingkan dengan sistem sel bahan bakar lain, diantaranya adalah tidak memerlukan peralatan untuk memproses bahan bakar dan bisa dioperasikan pada suhu rendah^(47,48), kemudahan penyimpanan bahan bakar, mempunyai ukuran yang relatif kecil, efisiensi energi yang tinggi, serta tidak mencemari lingkungan.

Mekanisme kerja Sel bahan bakar yang menggunakan metanol sebagai bahan bakarnya adalah sebagai berikut : CH_3OH dioksidasi pada lapisan katalis di anoda membentuk CO_2 , dan air yang diperlukan di anoda dihasilkan di katoda. Ion positif (H^+) bergerak melalui membran

polimer elektrolit (PEM) menuju katoda dan bereaksi dengan gas oksigen membentuk air. Elektron bergerak sepanjang circuit eksternal dari anoda menuju katoda menghasilkan arus listrik yang keluar dari sel bahan bakar (Gambar 21).



Gambar 21: Mekanisme kerja sel bahan bakar yang menggunakan larutan metanol sebagai bahan bakar (DMFC).

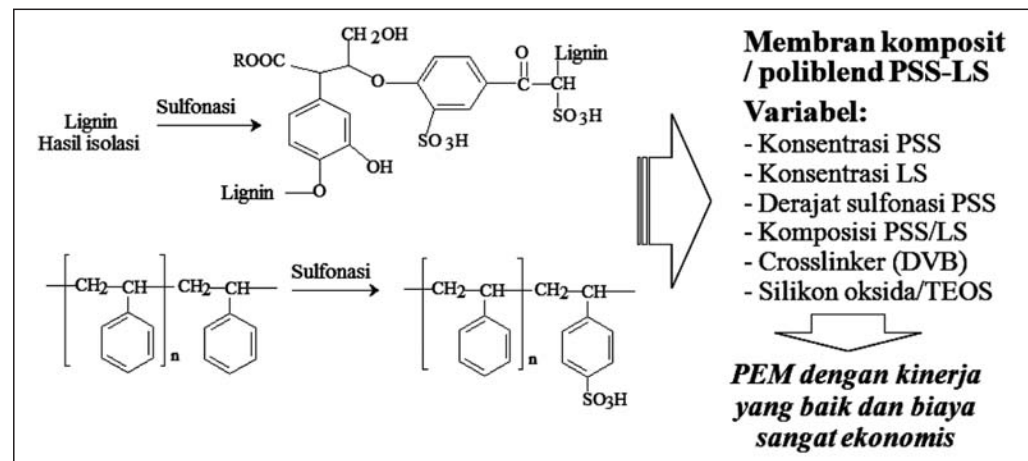
Sel bahan bakar yang banyak digunakan sekarang menggunakan membran polimer jenis perfluorokarbon (Nafion) sebagai bahan dasar membrannya, karena membran Nafion memiliki kestabilan kimia, mekanik dan termal yang baik serta mempunyai hantaran yang tinggi.

Membran polimer elektrolit yang dibuat dari polimer Nafion mempunyai beberapa keterbatasan^(49,50), antara lain : harganya masih mahal, tidak dapat mencegah adanya *methanol cross-over* dengan baik, serta dapat menimbulkan polusi (sebagai limbah) ketika membran tersebut tidak digunakan lagi. Keterbatasan tersebut menyebabkan kinerja sistem sel bahan bakar menurun dan kurang ekonomis⁽⁵¹⁻⁵³⁾. Meskipun keterbatasan tersebut bisa dikurangi dengan menggunakan polimer polisulfon, polistiren dan poli(eter eter keton) yang disulfonasi, tetapi rapat arus sel bahan bakar yang dihasilkan masih rendah sebagai akibat sedikitnya gugus sulfonat yang terdapat pada membran-membran tersebut.

Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) termasuk katagori PEMFC, dan metanol sebagai bahan bakar dialirkan langsung ke sel bahan bakar, tidak memerlukan katalitik reforming yang kompleks seperti halnya pada bahan bakar gas hidrogen. Penyimpanan metanol lebih mudah (tidak perlu tekanan tinggi atau suhu rendah, karena metanol cair dari -97 s/d $64,7$ °C. Kerapatan energi, yakni besarnya energi yang dihasilkan per volume lebih tinggi dibandingkan gas hidrogen yang terkompresi. Efisiensi DMFC masih lebih rendah dibandingkan PEMFC, karena masih tingginya permeasi bahan bakar metanol pada membran (*Methanol cross-over*).

Untuk mengatasi berbagai keterbatasan tersebut telah dicoba modifikasi polistiren dengan polimer alternatif lain yang berasal dari alam seperti lignosulfonat (Gambar 22). Membran polimer elektrolit yang akan dihasilkan diharapkan dapat mengatasi beberapa kelemahan membran

polimer elektrolit sebelumnya, terutama dari aspek laju migrasi ion, ketahanan termal maupun dari aspek ekonomis, juga ramah lingkungan. Penelitian ini juga bertujuan memanfaatkan lignosulfonat dari limbah industri pulp dan kertas serta sampah plastik styrofoam untuk pembuatan membran komposit sel bahan bakar, sehingga limbah dan sampah plastik tersebut masih dapat memiliki nilai tambah serta dapat mengurangi terjadinya polusi terhadap lingkungan.



Gambar 22: Proses pembentukan membran polimer elektrolit dari polistiren tersulfonasi (PSS) dan lignosulfonat (LS).

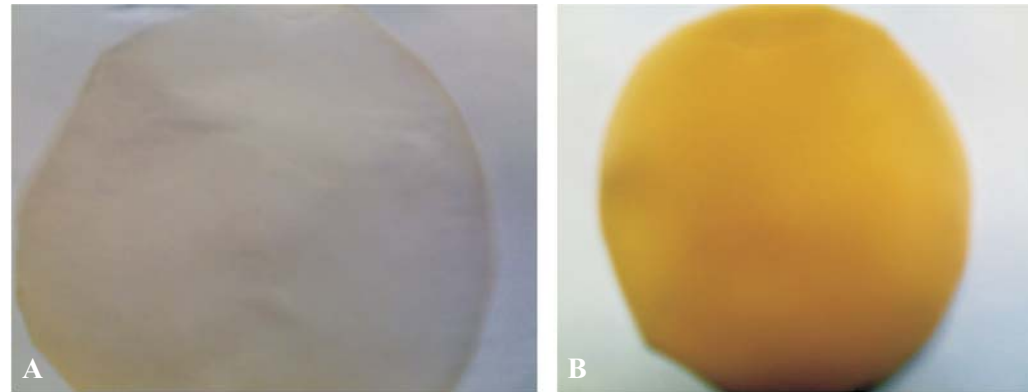
Dalam penelitian ini meliputi proses isolasi lignosulfonat dari limbah industri pulp dan kertas, penyiapan polistiren tersulfonasi dari limbah styrofoam dan karakterisasinya, pembuatan membran komposit/poliblend dari polistiren tersulfonasi-lignosulfonat pada berbagai komposisi, karakterisasi membran komposit/poliblend yang dihasilkan, serta pengujiannya dalam sistem sel bahan bakar.

Hasil yang telah diperoleh antara lain : Polistiren dapat diperoleh dari isolasi limbah styrofoam dengan struktur yang hampir sama dengan struktur polistiren yang diperoleh dari sintesis secara kimia maupun yang diperoleh secara komersial. Randemen polistiren dari isolasi limbah plastik styrofoam sebesar 95% dengan berat molekul berdasarkan viskositas sebesar 159.375 g/mol). Lignosulfonat juga dapat diperoleh dari isolasi limbah industri pulp dan kertas dengan karakteristik hampir mirip dengan karakteristik lignosulfonat komersial.

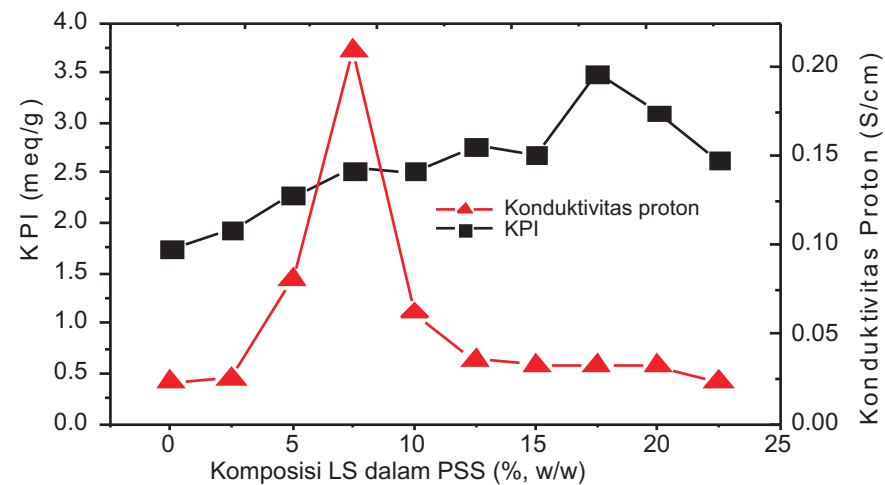
Karakteristik polistiren tersulfonasi (PSS) yang memenuhi aplikasi membran polimer elektrolit sel bahan bakar terutama dari nilai derajat swelling dan hantaran protonnya adalah polistiren yang disulfonasi dengan kondisi : 5 g polistiren, 0,0368 mol asetil sulfat (reagen sulfonasi), suhu 40°C dan waktu sulfonasi selama 60 menit. Polistiren tersulfonasi memiliki karakteristik : derajat sulfonasi kira-kira 15-20%, kapasitas penukar ion (IEC) 1,30 meq/g, hantaran proton 0,002 S/cm, dan permeabilitas metanol $2,73 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Gambar 23A).

Penambahan lignosulfonat pada membran PSS dapat meningkatkan derajat swelling, kapasitas penukar ion dan juga hantaran proton dari membran. Akan tetapi dengan penambahan LS lebih besar dari 7,5%, konduktivitas proton membran PSS-LS menurun (Gambar 23B dan 24). Penurunan konduktivitas membran dengan penambahan LS lebih besar dapat disebabkan karena disamping LS mengandung gugus hidrofil seperti gugus -OH dan -SO₃H, juga mengandung ikatan silang yang

terbentuk antara gugus fungsi liginosulfonat^(54,55).



Gambar 23: Photo membran A). PSS dan B). PSS-LS.



Gambar 24: Photo membran A). PSS dan B). PSS-LS.

Membran PSS dan membran poliblend PSS-LS dengan kandungan LS 5-7,5 % memiliki kemampuan untuk memtransport proton yang menjanjikan untuk aplikasi sel bahan bakar yakni sebesar 0,002-0,21 S/cm

dengan karakteristik hampir sama dengan Nafion 117 (sebagai membran standar) dengan biaya lebih murah. Hantaran proton Nafion 117 pada kondisi pengukuran yang sama diperoleh sebesar 0,37 S/cm.

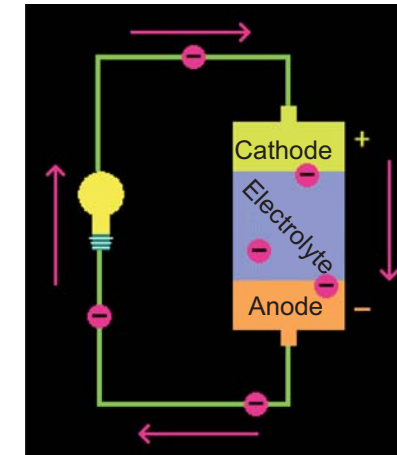
Dengan peningkatan derajat sulfonasi pada polistiren (PS) dan penambahan LS pada membran dapat meningkatkan karakteristik membran seperti transport proton, derajat swelling, dan kapasitas penukar ion, akan tetapi sifat mekanik membran masih rendah yakni masih agak rapuh pada suhu kamar, sehingga untuk penyimpanan membran perlu dilakukan dalam keadaan basah. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal membran, termasuk permeabilitasnya terhadap bahan bakar metanol melalui penambahan silikon oksida dan plastisizer lainnya, sehingga diperoleh membran alternatif yang mempunyai kinerja yang lebih baik dengan harga lebih ekonomis, serta ramah lingkungan.

4.2 MEMBRAN POLIMER ELEKTROLIT BATERAI LITIUUM

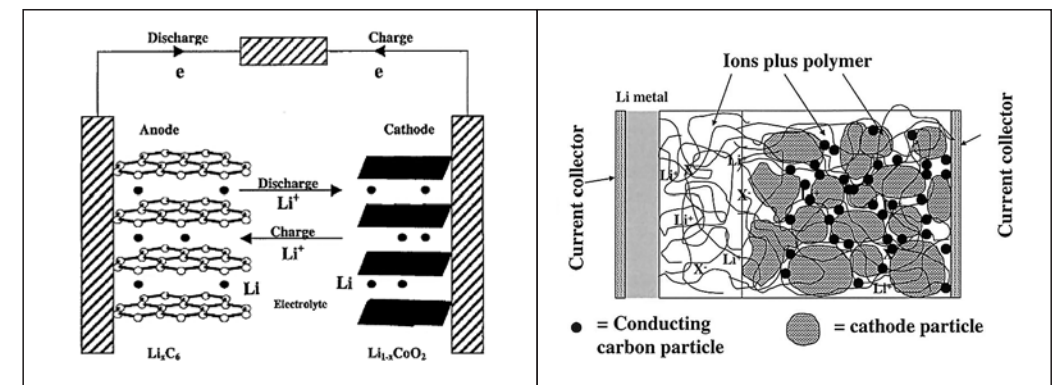
Dengan berkembangnya peralatan elektronik portable, khususnya telepon mobil dan komputer notebook akhir-akhir ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan baterai yang dapat menyimpan energi listrik yang cukup tinggi dan dengan waktu kerja yang lebih panjang. Di antara beberapa jenis baterai, baterai ion litium merupakan solusi yang menjanjikan untuk memenuhi keperluan tersebut^(66,67). Sekarang ini, baterai ion litium yang ada di pasaran menggunakan elektrolit dalam

bentuk cairan yang mudah terbakar, sehingga diperlukan casing logam yang bebas dari kebocoran sebagai wadah elektrolit. Suatu pemisah harus ditempatkan di antara katoda dan anoda untuk mencegah terjadinya arus pendek dalam sel baterai. Berat casing logam sebagai tempat elektrolit dan volume yang diperlukan oleh pemisah elektroda tersebut dapat menurunkan kapasitas spesifik energi baterai (Gambar 25)⁽⁵⁸⁾. Disamping itu penggunaan elektrolit dalam bentuk cairan dapat menimbulkan masalah seperti terbentuknya gas akibat pengisian listrik yang berlebihan (*overcharge*), terjadinya reaksi termal bila dipanaskan sampai temperatur tinggi, dan juga meningkatnya material beracun dan berbahaya yang keluar ke lingkungan^(59,60).

Pengganti alternatif elektrolit cair dalam sel elektrokimia adalah sistem polimer elektrolit dalam bentuk padatan yang dibentuk melalui penggabungan garam litium ke dalam matrik polimer. Baterai litium dalam sistem padatan polimer elektrolit yang dapat diisi berulang-ulang (*rechargeable*) diharapkan dapat memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem elektrolit cairan yang telah ada sekarang. Komponen utama dari baterai litium bermatrik padatan polimer adalah elektrolitnya (Gambar 26). Pemilihan polimer yang diperlukan untuk sel baterai didasarkan pada beberapa keperluan, yang mencakup konduktivitas, sifat mekanik, dan juga kompatibilitasnya dengan bahan elektrolit⁽⁵⁹⁾.

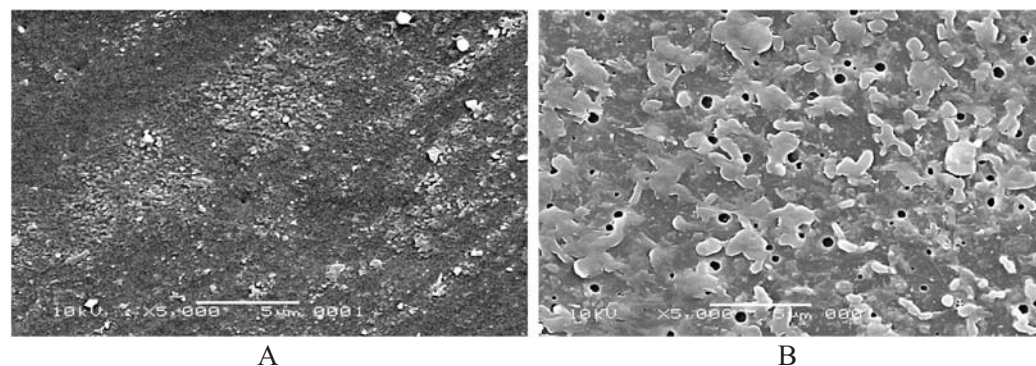


Gambar 25: Baterai ion litium.



Gambar 26: Komponen utama yang terdapat pada baterai litium.

Tujuan dari penelitian ini adalah menyiapkan polimer elektrolit baru yang memiliki konduktivitas ionik yang cukup baik dari bahan polimer yang dapat terbiodegradasi di alam seperti selulosa asetat, kitosan, polivinil alkohol, polilakton (PHB dan PCL) serta poliblendnya dengan menggunakan garam-garam logam litium seperti litium perklorat dan litium asetat sebagai ion litiumnya.

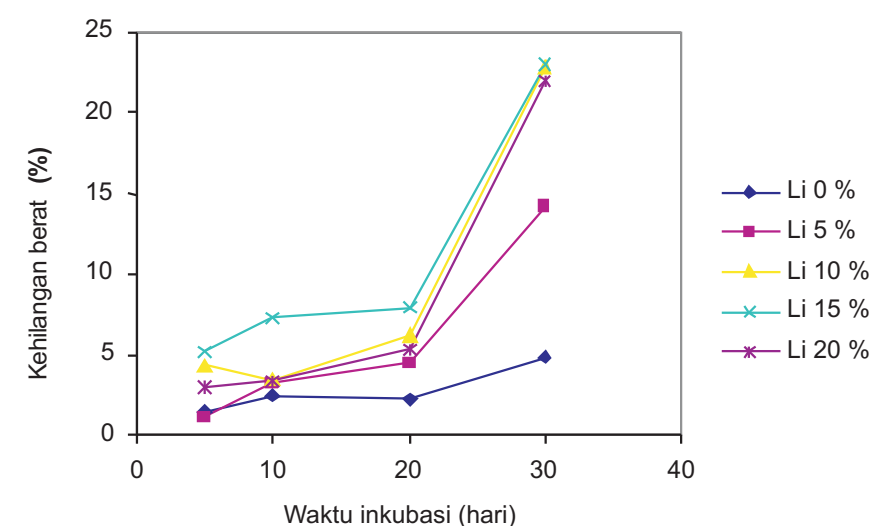


Gambar 27: Morfologi permukaan (SEM) membran polimer elektrolit yang disiapkan dari selulosa asetat dan LiClO₄ 15 % LiClO₄, A). Sebelum biodegradasi dan B) Setelah biodegradasi selama 30 hari.

Dari hasil penelitian sementara dengan menggunakan bahan dasar selulosa asetat menunjukkan bahwa konduktivitas ion dan kekuatan mekanik membran polimer elektrolit meningkat dengan meningkatnya litium klorat dalam matriks selulosa asetat. Akan tetapi sifat mekanik dan biodegradabilitas maksimum dalam lumpur aktif diamati pada membran polimer elektrolit yang disiapkan dari pencampuran selulosa asetat dan litium klorat dengan rasio litium klorat 15% (Gambar 27 dan 28). Berdasarkan analisis gugus fungsional menunjukkan adanya hidrolisis ikatan glikosida dalam rantai selulosa, dan juga hidrolisis gugus asetil dari selulosa asetat selama proses biodegradasi. Membran polimer elektrolit yang disiapkan dari pencampuran selulosa asetat dan litium klorat sangat berpotensi digunakan sebagai membran polimer elektrolit untuk aplikasi baterai ion litium yang ramah lingkungan⁽⁶¹⁾.

Penelitian mengenai membran polimer elektrolit untuk aplikasi

baterai ion litium saat ini masih berjalan dengan menggunakan berbagai bahan polimer yang dapat terbiodegradasi di alam seperti poliblend PCL-PSS, PHB-PSS, PVA, serta kitosan yang diperoleh dari limbah kulit udang, dengan harapan diperoleh polimer elektrolit yang dapat digunakan untuk aplikasi baterai litium yang ramah lingkungan, dengan harga yang sangat murah, praktis, serta aman digunakan.



Gambar 28: Biodegradasi membran polimer elektrolit pada berbagai komposisi ion Li.

5. PENUTUP

Polimer yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme di alam mengandung ikatan yang dapat terhidrolisis. Ikatan dalam polimer yang bisa terhidrolisis baik oleh asam maupun oleh enzyme dari mikroorganisme mengandung gugus fungsi yang bersifat polar, seperti gugus ester, gugus amida, gugus eter, dan sebagainya. Untuk

mendapatkan polimer yang dapat terbiodegradasi dapat dilakukan dengan membuat polimer baru yang dapat terbiodegradasi (*New biodegradable polymers*) baik melalui biosintesis maupun melalui sintesis secara kimia, atau memodifikasi polimer yang telah ada melalui pembentukan poliblendnya atau dengan menambahkan zat pro-oksidant ke dalam matrik polimer (*Oxo-biodegradable polymers*).

Polimer yang dapat terbiodegradasi dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, baik untuk bahan pengemas, bidang farmasi, bidang pertanian, bidang kedokteran, termasuk juga dalam bidang energi seperti untuk bahan membran sel bahan bakar dan sel baterai.

Untuk mengurangi sampah plastik di alam perlu dibudayakan penggunaan bahan plastik yang dapat terbiodegradasi, sehingga keperluan bahan plastik yang dapat terdegradasi di alam di masa yang akan datang menjadi sangat penting. Untuk itu pengembangan lebih lanjut jenis bahan plastik tersebut sangat diperlukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan dan Anggota Majelis Guru Besar ITB atas kehormatan dan kesempatan yang diberikan, sehingga penulis dapat menyampaikan pidato ilmiah di hadapan para hadirin sekalian.

Pada kesempatan yang berbahagia ini pula penulis menyampaikan

penghargaan dan ucapan terima kasih kepada para guru dan pendidik yang telah memberikan pendidikan, pengajaran, dan bimbingan dengan tulus ikhlas kepada penulis, baik di Sekolah Dasar Negeri Menanga, SMP Negeri Rendang, SMA Negeri 2 Denpasar, Institut Teknologi Bandung, maupun di USTL Montpellier, Perancis.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tulus juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Ing. Cynthia L. Radiman atas bimbingannya selama penulis melakukan penelitian tugas akhir dan penyusunan skripsi di Program S1, Program Studi Kimia, FMIPA ITB. Demikian pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. N. M. Surdia, yang telah merekomendasikan penulis untuk menjadi staf pengajar di Program Studi Kimia, FMIPA ITB dan sekaligus membimbing penulis saat melakukan penelitian tugas akhir dan penyusunan tesis di Program Pasca Sarjana, ITB. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Francois Schue dan Dr. Sledz yang telah membimbing penulis saat mengambil Program Doktor di USTL Montpellier, Perancis.

Pada kesempatan ini pula penulis sampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada bapak Rektor ITB, bapak Dekan FMIPA, Wakil Dekan, beserta jajarannya atas kesempatan dan dukungan yang diberikan pada penulis untuk mengabdikan dan melakukan kegiatan akademik di ITB. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ismunandar, Prof. Dr. Ing. Cynthia L. Radiman, Prof. Dr. Ing. Mitra

Djamal, dan Prof. Dr. Buchari yang telah mempromosikan penulis pada jabatan akademik ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan di KK Kimia Fisika dan Anorganik, yang telah mendukung dan mendorong penulis, serta atas kerjasamanya yang saling mendukung baik dalam kegiatan pendidikan, pengajaran maupun pada kegiatan penelitian. Kepada para dosen, karyawan, dan mahasiswa di ITB baik program sarjana maupun pasca sarjana, yang tidak sempat disebutkan namanya satu persatu, penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya.

Terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada kedua orang tua penulis, ayahanda Bapak I Nyoman Lanus (alm.) dan ibunda Ni Made Ledang, Paman dan Tante, serta semua saudara sepupu penulis atas perhatian, kasih sayang, dan dukungannya. Begitu pula terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada ayahanda mertua, Bapak Dr. Ketut Selamat, SH., MHk. dan ibunda mertua Ibu Sukasih (almh.), serta kakak dan adik ipar penulis atas segala perhatian dan dukungannya.

Secara khusus terima kasih penulis sampaikan kepada istri tercinta, Ir. Ni Ketut Hariyawati Dharmi, MM yang senantiasa mendampingi hidup penulis dengan penuh kasih sayang yang tulus, penuh kesabaran dan pengertian, serta dukungannya dalam menjalankan tugas, kewajiban, serta pengabdian penulis. Demikian pula terima kasih kepada anak-anakku tersayang, Ni Luh Saddhwi Saraswati Adnyani, Ni Made Laksmi Gita Adnyani, dan I Nyoman Rama Ananda Adnyana, yang selalu berbagi

cerita, kebahagiaan, dan kasih sayang, yang semuanya memberi semangat, energi, serta menginspirasi penulis untuk berkarya.

Akhirnya penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada bapak dan ibu serta para hadirin sekalian atas kehadiran, perhatian, dan kesabarannya selama mendengarkan pidato ilmiah ini. Mohon maaf sekiranya dalam penyampaian pidato ilmiah ini ada hal yang kurang berkenan, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lemoigne, *Bull Soc. Chem. Biol*, 8, 1291 (1926)
2. Hay Wood, G.N., Anderson, A.J., Dawes, E.A., *Biotechnol. Lett*, 11, 471 (1989),
3. Pere, R., Lenz, R.W., *Macromolecules*, 26, 6697 (1993),
4. Holmes, P.A., *Phys. technol.*, 16, 32 (1985),
5. a). Doi, Y., Kanesawa, Y., Kunioka, M., and Saito, T., *Macromolecules*, 23, 26 (1990), b). Kunioka, M., and Doi, Y., *Macromolecules*, 23, 1933 (1990)
6. a). Tarahashi, N., Doi, Y., *Macromolecules*, 24, 5732 (1991), b). Yamashita, Y., Tsuda, T., Ischida, H., Uchikawa, H., Kuriyama, Y., *Macromol. Chem.*, 113, 139 (1968),
7. Lavalley, C., Genier, D., Prud'homme, R.E., LeBorgne, A., Spassky, N., " *Advances in Polymer Synthesis* ", Ed, By Culbertson, B.M., and McGath, J.E., Plenum Publishing Corp., 450 (1985),

8. Goss, R.A., Zhang, Y., Thomas, Lenz, R.W., *Polym. Prepr.*, 29(1), 596 (1988)
9. LeBorgne, A., Spassky, N., *Polymer*, 30, 2312 (1989)
10. Benvenuti, M., Lenz, R.W., *J. Polym. Sci., Part. A : Polym. Chem.*, 29, 793 (1991)
11. Iida, M., Araki, T., Teranishi, K., Tani, T., *Macromolecules*, 10, 275 (1977),
12. Zhang, Y., Goss, R.A., Lenz, R.W., *Macromolecules.*, 23, 3206 (1990)
13. Kemnitzer, J.E., McCarthy, S.P., Goss, R.S., *Macromolecules*, 25, 5927 (1992),
14. Kurkok, P., Kowalczyk, M., Jedlinski, Z., *Macromolecules*, 27, 4833 (1994)
15. Jedlinski, Z., Kowalczyk, M., *Macromolecules*, 22, 3242 (1989)
16. Teranishi, K., Iida, M., Araki, T., Tamashita, S., Tani, H., *Macromolecules*, 7, 421 (1974)
17. Kricheldorf, H.R., Lee, S.R., Scharnagl, N., *Macromolecules*, 27, 3139 (1994),
18. Kricheldorf, H.R., Scharnagl, N., *J. Macromol. Sci. Chem.*, A26(7), 951 (1989)
19. Dubois, Ph., Degee, Ph., Jerome, R., Teyssie, Ph., *Macromolecules*, 26, 2730 (1993),
20. a), Otera, J., Dan-Oh, N., Nosaki, H., *J. Org. Chem.*, 56, 5307 (1991), b), Okawara, R., Wada, M., *J. of Organometallic Chem.*, 1, 81 (1963)
21. Doi, Y., Kumagai, Y., Tanahashi, N., Mukai, K., *Biodegradable Polymer and Plastics*, Vert, M., at all, Eds., Royal Society of Chemistry, London, p, 139 (1992),

22. Jesudason, J.J., Marchessault, R.H., Saito, T.J., *Environ. Polym. Degrad.*, 1, 89 (1993),
23. Hocking, P.J., Timmins, M.R., Scherer, T.M., Fuller, R.C., Lenz, R.W., Marchessault, R.H., *Macromol. Rapid Commun.*, 15, 447 (1994),
24. C. Jaimes, **M. Arcana**, A. Brethon, A. Mathieu, F. Schue, and J.M. Desimone, *Eur. Polym. J.*, 34, (2), p, 175-185 (1998)
25. **M. Arcana**, O.Giani-Beaune, F. Schue, W. Amass, A. Amass, *Polymer International*, 49 (11), 1348-1355 (2000)
26. **M. Arcana**, O.Giani-Beaune, R. Schue, F. Schue, W. Amass, A. Amass, *Polymer International*, 51 (10), 859-866, 2002
27. Eisenbach, C.D., Nefzger, H., "Polyurethanes and related polymers", Handbook of Polymer Synthesis, Marcel Dekker Inc., New York, 685 (1992)
28. Nicholson, J.W., "The Chemistry of Polymers", 2nd Ed., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 19, (1997)
29. Pigott, K.A., "Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", A Wiley-Interscience Publication-John Wiley and Sons Inc., 21, 58 (1996),
30. Brydson, J.A., "Plastic Materials", Butterworth Heineman Ltd., Oxford, 756, (1995)
31. Chen, Z., Zhang, R., Kodama, M., and Nakaya, T., *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, 10 (9) 901 (1999)
32. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Bunbun Bundjali, M Hasan, Ketut Hariyawati, Helen Mariani, Shinta Dewi Anggraini, and Aditya Ardana, *Journal of Polymer and the Environment*, 18, 188-195 (2010).
33. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, M Hasan, Muhamad Ali Zulfikar and Ketut Hariyawati, *Polymer International*, Vol 60 Issue 10, hal 1535-

- 1540, (2011)
34. P. Galli, S. Danesi, and T. Simonazzi, Polypropylene Based Polymer Blends : Fields of Application and New Trends, *Polymer Eng. Sci.*, 24, 544 (1984)
 35. Billmeyer, Textbook of Polymer Science, 3rd Ed., John Willey & Son, 1984.
 36. Union Carbide Chemical and Plastic Co., Inc., Technology Manual for Laboratory, Texas, 1990
 37. Rosen, S.L., Fundamental Principles of Polymeric Materials, John Willey & Son, New York, 1981
 38. Kissin, Yurry V., *Polypropylene* : In Kirk & Othmer : *Encyclopedia Chemical Technology*”, John Willey & Son, New York, 1994, Vol.-17
 39. D.J. Lohse, S. Datta, and E.N Kresge, Graft Copolymer Compatibilizers for Blends of Polypropylene and Ethylene-Propylene Copolymers, *Macromolecules*, 24, 561 (1991)
 40. T.C. Chung and D. Rhubright, Functionalization of Polypropylene by hydroboration, *J. Polym. Sci.*, 31, 2759 (1993),
 41. Chung TC and Rhubright D, *Macromolecules*, 27, 1313-1319 (1994)
 42. Heino M and Seppala J, *J. Appl. Polym. Sci.*, 48, 1677-1687 (1993).
 43. Bataille P, Boisse S, Schreiber H, *Polym. Eng. Sci.*, 27, 622 (1987).
 44. **I M. Arcana**, A. Sulaeman, K.D. Pandiangan, A. Handoko, and M. Ledyastuti, *Polymer International*, 55 (4), 435 (2006).
 45. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Iyan Yudistira, Budiati Jariah, and Lenggana, *Polymers Journal*, 39 (12), 1337 (2007).
 46. Reddy, M.M., M. Deighton, Gupta, S.N., Parthasarathy, R., *J. Appl.*

- Polym. Sci., 111, 1426 (2008)
47. Ren, X., Wilson, M.S & Gottesfeld, S., *J. Electrochem. Soc.* 143, 12 (1996).
 48. Hampson, N.A., Wilars, M.J & Mc Nicol, B.D, *J. Power Sources* 4, 191 (1979).
 49. Thomas, S.C., Ren, X., Gottesfeld, S & Zelenay, P., *Electrochem. Acta* 47, 3741 (2002).
 50. Scott, K., Taama, W & Cruikshank, J., *J. Power Sources* 65, 159 (1997).
 51. Ren, X., Springer, T.E., Zawodzinski, T.A. & Gottesfeld, S., *J. Electrochem. Soc.* 147, 466 (2000).
 52. Ren, X., Springer, T.E & Gottesfeld, S., *J. Electrochem. Soc.* 147, 92 (2000).
 53. Scott, K., Taama, W.M., Argyropoulos, P & Sundmacher, K., *J. Power Sources* 83, 204 (1999).
 54. Siang Tandi Gonggo, **I Made Arcana**, Cynthia L. Radiman, and Bunbun Bundjali, *International Journal of Material Science*, 6(1), 1-14 (2011)
 55. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Siang Tandi Gonggo, Haryawati Dharmi, and Luchana Lamierza Yusup, *Properties of Polymer Electrolyte Membranes Prepared From Sulfonated Polystyrene and Lignosulfonate*, International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (CFCHT2009), Center for Material Technology, BPPT-Jakarta, 28-29 October 2009
 56. C.A. Vincent, *Solid State Ionic*, 134, 159 (2000)
 57. M. Wakihara, *Mater. Sci. Eng.*, 33, 109 (2001)
 58. F.A. Amaral, C. Dalmolin, S.C. Canobre, N. Bocchi, R.C. Rocha-Filho, and S.R. Biaggio, *Journal of Power Sources*, 164, 379 (2007).

59. C.P. Fonseca and S. Neves, *Journal of Power Sources*, 159, 712 (2006).
60. C.P. Fonseca, F. Cavalcante Jr., F.A. Amaral, C.A.Z. Souza, and S. Neves, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2, 52 (2007).
61. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Ni Ketut Hariyawati, and David Kasidi, *The Biodegradable Polymer Electrolyte from Cellulose Acetate For Lithium Ion Battery Application*, The 14th Asian Chemical Congress (14ACC), Bangkok-Thailand, 5-8 Sept. 2011

CURRICULUM VITAE



Nama : **I MADE ARCANA**
 Tempat/tgl. lahir : Karangasem, 25 Agustus 1964
 Alamat Kantor : KK. Kimia Fisika dan Anorganik
 FMIPA - ITB,
 Jln. Ganesha No. 10, Bandung
 Telp./Fax : 022 2502103 / 2504154
 E-mail : arcana@chem.itb.ac.id

Nama Istri : Ni Ketut Hariyawati Dharmi
 Nama Anak : - Ni Luh Saddhwi Saraswati Adnyani
 - Ni Made Laksmi Gita Adnyani
 - I Nyoman Rama Ananda Adnyana

I. RIWAYAT PENDIDIKAN:

JENJANG PENDIDIKAN	S1	S2	S3
PERGURUAN TINGGI	ITB, Bandung	ITB, Bandung	USTL, Montpellier Perancis
TAHUN LULUS	1987	1990	1996
PEMBIMBING	Prof. Dr. Ing C.L. Radiman	Prof. Dr. N. M. Surdia	Prof. Dr. Francois Schue
BIDANG	Kimia Fisika/ Polimer	Kimia Fisika/ Polimer	Biodegradable Polymers

II. RIWAYAT KEPANGKATAN:

NO.	PANGKAT	GOLONGAN	TAHUN
1	Penata Muda	III/a	01 November 1989
2	Penata Muda Tk. I.	III/b	01 Oktober 1992
3	Penata	III/c	01 Oktober 1998
4	Penata Tk. I	III/d	01 April 2001
5	Pembina	IV/a	01 April 2004
6	Pembina Tk. I	IV/b	01 Oktober 2007
7	Pembina Utama Madya	IV/c	01 April 2011

III. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL:

NO.	JABATAN	TAHUN
1	Asisten Ahli Madya	01 Juli 1990
2	Asisten Ahli	01 Juni 1992
3	Lektor Muda	01 Juli 1998
4	Lektor (Inpassing)	01 Oktober 2000
5	Lektor Kepala	01 Februari 2004
6	Guru Besar	01 Desember 2010

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL:

NO.	JABATAN	TAHUN
1.	Tim Nilai Jurusan Kimia - ITB	1997-1999
2.	Konservator Jurusan Kimia - ITB	1998-1999
3.	Ketua Laboratorium Kimia Fisik, Departemen Kimia, FMIPA, ITB	2002-2003

NO.	JABATAN	TAHUN
4.	Pelaksana Harian Koordinator Tugas Akhir, Departemen Kimia, FMIPA - ITB	2002
5.	Ketua Laboratorium Kimia Fisik Material, Departemen Kimia, FMIPA, ITB	2003-2004
6.	Ketua Laboratorium Kimia Dasar, Program Studi Kimia, FMIPA, ITB	2005-2006

V. PENELITIAN/PUBLIKASI:

5.1. Dalam Jurnal Internasional Bereferece

1. C. Jaimes, **M. Arcana**, A. Brethon, A. Mathieu, F. Schue, and J.M. Desimone: Structure and morphology of poly([R,S])- β -hydroxybutyrate) synthesized from aluminoxane catalyst, *Eur. Polym. J.*, 34, (2), p. 175-185 (1998)
2. A. Rahal, A. Mas, A. Elharfi, **M. Arcana**, F. Schue: Membranes de pervaporation en polyvalerolactone et polycaprolactone. Testees pour la deshydratation de l'ethanol, *Eur. Polym. J.*, 34, (1), pp. 45-50 (1998).
3. **IM. Arcana**, O.Giani-Beaune, F. Schue, W. Amass, A. Amass: Structure and morphology of poly(β -hydroxybutyrate) synthesized by ring-opening polymerization of racemic (R,S)- β -butyrolactone with distannoxane derivatives, *Polymer International*, 49 (11), 1348-1355, 2000
4. **IM. Arcana**, O.Giani-Beaune, R. Schue, F. Schue, W. Amass, A. Amass: Ring-opening copolymerization of racemic β -butyrolactone with ϵ -caprolactone and δ -valerolactone by

distannoxane derivative catalysts: study of the enzymatic degradation in aerobic media of obtained copolymers, *Polymer International*, 51 (10), 859-866, 2002

5. **IM. Arcana**, A. Sulaeman, K.D. Pandiangan, A. Handoko, and M. Ledyastuti: Synthesis of polyblends from polypropylene with poly(R,S)- β -hydroxybutyrate and its characterization, *Polymer International*, 55 (4), 435 (2006).
6. **I.M. Arcana**, B. Bundjali, I. Yudistira, B. Jariah, L. Sukria: Study on Properties of Polymer Blend from Polypropylene with Polycaprolactone and Their Biodegradability, *Polymer Journal*, Vol. 39, No. 12, p. 1337 (2007)
7. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, M Hasan, Ketut Hariyawati, Helen Mariani, Shinta Dewi Anggraini, and Aditya Ardana: Study on Properties of Poly(urethane-ester) Synthesized from Prepolymers of ϵ -Caprolactone and 2,2-Dimethyl-1,3-Propanediol Monomers and Their Biodegradability, *Journal of Polymer and the Environment*, 18, 188-195 (2010)
8. Siang Tandi Gonggo, **I Made Arcana**, Cynthia L. Radiman, and Bunbun Bundjali: Synthesis and Characterization of Polyblends from Sulfonated Polystyrene-Lignosulfonate as Ionomer Membranes", *International Journal of Material Science*, 6(1), 1-14 (2011)
9. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, M Hasan, Muhamad Ali Zulfikar and Ketut Hariyawati: The effect of the soft segment of prepolymers on properties of poly(urethane-ester) and its biodegradability, *Polymer International*, Vol 60, 10, hal 1535-1540, (2011).

5.2. Dalam Jurnal Nasional Terakreditasi

1. **M. Arcana**: Chemical synthesis of poly(R,S)- β -hydroxybutyrate by tetraisobutyldialuminoxane catalyst, *Journal of Mathematics and Sciences*, 4, 226 (1999).
2. **Arcana, M.**: Structure and thermal properties of poly(R,S)- β -hydroxybutyrate synthesized by aluminoxane catalyst, *Proceeding ITB*, 32 (1), 1 (2000).
3. Ponco Iswanto, N.M. Surdia, **I M. Arcana**: Biodegradation of Poly(trimethylene adipat) with sludge active, *Journal Ilmiah-UNSOED*, 1, 74, (2002), ISSN. 0126-2475.
4. **M. Arcana**, K. Nagesh, and S. Ramakrisnan: Synthesis of narrow polydispersity block copolymers of PtBA-PS by novel RAFT polymerization technique, *Proc. ITB Eng. Science*, 36 (1), 2004
5. M. Hasan, S.I. Rahayu, C.L. Radiman, dan **IM. Arcana**: Sintesis kopoliester dari e-caprolakton dan 2,2-dimetil-1,3-propandiol: Prepolimer alternative untuk sintesis polyester dengan berat molekul tinggi, *Jurnal Matematika dan Sains (JMS)*, 10 (4), 2005
6. M. Arcana, B. Tanajaya, B. Anwar, C.L. Radiman, and M.A. Sulfikar: Biodegradation of Poly(R,S)- β -hydroxybutyrate and its copolymer with δ -Valerolactone Synthesized by Aluminoxane Catalyst, *Proc. ITB Sain dan Teknologi*, 37 A(2), 2005
7. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, M. Hasan, Helen Mariani, and Shinta Dewi Anggraini: Synthesis of copolymers by ring-opening copolymerization of δ -valerolactone and 2,2-dimethyl-1,3-propandiol mono-mers and their characterization, *Jurnal Matematika dan Sains*, 13, 22 (2008), ISSN: 0854-5154
8. M. Masykuri, Cynthia L Radiman, **I Made Arcana**, Sadijah

Achmad: Optimasi reaksi epoksidasi pada sintesis poli(uretan-urea) menggunakan asam perasetat dan asam performiat secara in-situ, *Alchemy, Jurnal Penelitian Kimia*, 7 (1), 76-82, 2008, ISSN. 1412-4092

9. **I Made Arcana**, M Hasan, Shinta Dewi Anggraini, Asti Ardhyo Febrianti, and Aditya Ardana: Structure and Properties of Polymers Prepared by Polymerization of 2,2-Dimethyl-1,3-Propanediol and ϵ -Caprolactone Monomer, *ITB Journal of Science*, 41 A (2), 10-20, (2009).

5.3. Dalam Jurnal Lainnya

1. M. Masykuri, C.L. Radiman, **IM. Arcana**, dan S. Achmad: Pengaruh jenis diol dan pemanjang rantai terhadap viskositas intrinsik poli(uretan-urea), *Majalah SIGMA*, ISSN: 1410-5888 (2009)
2. M. Masykuri, C.L. Radiman, **IM. Arcana**, dan S. Achmad: Viskositas intrinsik sebagai fungsi nisbah segmen keras/segmen lunak pada poli(uretan-urea) dari diol turunan oleat dan 4,4-metilen-bis(fenil isosianate), *Jurnal ITENAS*, Bandung, ISSN: 1410-3125 (2009)
3. Muhammad Wijaya dan **I Made Arcana**: Pembuatan dan Karakterisasi poliuretan dari serbuk kayu mahoni sebagai polimer biodegradable, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 2(2), 64-67 (2009)

5.4. Dalam Prosiding Seminar Internasional

1. **Arcana, I.M.:** Chemical synthesis of poly(R,S)- β -hydroxybutyrate and its characterization, *Proceeding of the Second International*

Workshop on Green Polymers, Science and Technology (Japan)-Dutch Polymer Institute (Netherlands), 15-20 October 2000, Bandung, Indonesia

2. Iswanto, P., Surdia, N.M., **Arcana, I.M.:** Synthesis poly-(trimethylene adipate) and its biodegradability by activated sludge, *Proceeding of the Second International Workshop on Green Polymers, Science and Technology (Japan)-Dutch Polymer Institute (Netherlands)*, 15-20 October 2000, Bandung, Indonesia
3. Lia Amelia and **I Made Arcana:** Modification of polystyrene by preparation of their polyblends with starch, *Proceeding of International Conference on Mathematics an Natural Sciences (ICMNS)*, 29-30 November 2006, Bandung
4. Lenggana and **I Made Arcana:** Synthesis of polyblends between polystyrene and polycaprolactone and their characterization, *Proceeding of International Conference on Mathematics an Natural Sciences (ICMNS)*, 29-30 November 2006, Bandung
5. Randi Rohandi, **I Made Arcana:** Preparation of (PS-PHB) Polyblends Using Tween-80® as Compatibilizer, *Proceeding of International Conference on Mathematics an Natural Sciences (ICMNS)*, 29-30 November 2006, Bandung
6. M. Masykuri, C.L. Radiman, **I M. Arcana**, and S. Achmad: Oleic acid epoxidation and oxirane ring-opening for poly(urethane-urea) synthesis, *Proceeding of International Conference on Mathematics an Natural Sciences (ICMNS)*, 29-30 November 2006, Bandung
7. Noerati, C.L. Radiman, S. Achmad, **I Made Arcana:** Synthesis and Characterization of water Soluble Chitosan Succinate as Durable

Antimicrobial Agent on Cotton, *Proceeding of 1st International Conference on Chemical Sciences (ICCS-2007)*, Yogyakarta, 24-26

8. **I Made Arcana**, B. Bundjali, M. Hasan, H. Mariani, S.D. Anggraini: Copolymers of 2,2-Dimethyl-1,3-Propanedione and δ -Valerolactone Monomers and their Properties, *Proceeding of 1st International Conference on Chemical Sciences (ICCS-2007)*, Yogyakarta, 24-26 May 2007, ISSN: 1410-8313
9. **I Made Arcana**, La Alio: Polyblends of Poly(vinyl alcohol) and Polycaprolactone and their properties, *Proceedings of International Conference on Neutron and X-Ray Scattering 2007*, Serpong & Bandung, Indonesia 23-31 July 2007, Hal. 263-26
10. Luchana Lamierza Yusup and **I Made Arcana**: Preparation and characterization of PSS-LS membranes for fuel cell application, *Proceeding of The second international conference on mathematics and natural sciences (ICMNS)*, ITB, Bandung, 28-30 October 2008
11. Erythrina Stavila and **I Made Arcana**: Synthesis of copolymers from styrene and poly(3-hydroxybutyrate) and their characterization, *Proceeding of The second international conference on mathematics and natural sciences (ICMNS)*, ITB, Bandung, 28-30 October 2008
12. Lelly Dwi Ambarini and **I Made Arcana**: The effect of sulfonation time in polystyrene characteristics and its polyblend with chitosan, *Proceeding of The second international conference on mathematics and natural sciences (ICMNS)*, ITB, Bandung, 28-30 October 2008
13. Herlina Citra Dewi and **I Made Arcana**: The influence of sulfonation degree on characteristics of PSS-LS membranes,

Proceeding of The second international conference on mathematics and natural sciences (ICMNS), ITB, Bandung, 28-30 October 2008

14. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Randi Rohandi, and Erythrina Stavila: Properties of polyblends prepared from polystyrene and poly(R-hydroxybutyrate), *Proceeding of The second international conference on mathematics and natural sciences (ICMNS)*, ITB, Bandung, 28-30 October 2008
15. David Kasidi and **I Made Arcana**: Synthesis of Polymer Electrolyte From Cellulose Acetate of Coconut Fiber Waste for Lithium Ion Battery Application, *International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (CFCHT2009)*, Center for Material Technology, BPPT-Jakarta, 28-29 October 2009
16. Siang Tandigonggo, Bunbun Bundjali, Cynthia L. Radiman, and **I Made Arcana**: The Influence of Acetyl Sulfate on Sulfonation of Polystyrene and their Properties as an Electrolyte Polymer Membrane, *International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (CFCHT2009)*, Center for Material Technology, BPPT-Jakarta, 28-29 October 2009
17. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Siang Tandigonggo, Haryawati Dharmi, and Luchana Lamierza Yusup: Properties of Polymer Electrolyte Membranes Prepared From Sulfonated Polystyrene and Lignosulfonate, *International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (CFCHT2009)*, Center for Material Technology, BPPT-Jakarta, 28-29 October 2009.
18. Siang Tandigonggo, Bunbun Bundjali, Cynthia L. Radiman, and **I Made Arcana**: Properties of Polyblends prepared from Sulfonated Polystyrene-Lignosulfonate for Direct Methanol Fuel Cell, *The 3rd*

International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2010, ITB-Bandung, 23-25 Nov. 2010

19. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, Ni Ketut Hariyawati, and David Kasidi: The Biodegradable Polymer Electrolyte from Cellulose Acetate For Lithium Ion Battery Application, *The 14th Asian Chemical Congress (14ACC)*, Bangkok-Thailand, 5-8 Sept. 2011

5.5. Dalam Prosiding Seminar Nasional

1. **M. Arcana**: Polimerisasi melalui pembukaan cincin (R,S)- β -Butirolakton untuk membentuk PHB sindiotaktik (Polimer Bidegradable), *Proc. Seminar Nasional Fisika Terapan dan Lingkungan'97*, hal. 66 (1997)
2. **M. Arcana**: Kopolimerisasi melalui pembukaan cincin (R,S)- β -Butirolakton dan ϵ -Caprolakton dengan katalis distannoxane (Polimer Biodegradable), *Proc. Seminar Nasional Kimia'97*, (1997)
3. Suwardi, **Arcana, M.**, Surdia, N.M.: Ring-opening polymerization of racemic (R,S)- β -Butyrolactone monomer by using distannoxane catalyst, *Proceeding of The fourth ITB-UKM Joint Seminar on Chemistry*, ITB-UKM, Jogjakarta, April 2000.
4. **Arcana, M.**: Enzymatic biodegradability of poly(R,S)- β -hydroxybutyrate synthesized by using tetraisobutyl-dialuminumoxane, *Proceeding of The fourth ITB-UKM Joint Seminar on Chemistry*, ITB-UKM, Jogjakarta, April 2000
5. **Arcana, I.M.**: Studi struktur kopolimer yang disintesis dari monomer β -Butyrolactone dan ϵ -Caprolactone dengan menggunakan katalis distanoksan, *Prosiding Seminar Nasional Polymer*, Himpunan Polimer Indonesia (HPI), Bandung, 8-9 August 2001

6. **I.M.Arcana**, B. Jariah, E. Rosalta, E. Ratnaningsih, N.M. Surdia: Modifikasi LDPE melalui Blending dengan Polycaprolacton, and karakterisasinya, *Prosiding Seminar Nasional Bidang Kimia*, Himpunan Kimia Indonesia (HKI)-Bandung, 28-29 May 2002
7. **I.M. Arcana**, B. Anwar, D. Mintaraga, and N.M. Surdia: Enzymatic degradation of Poly(Hydroxybutyrate-co-caprolactone) synthesized by Distannoxane catalyst, *Proceeding The Fifth UKM-ITB Joint Seminar on Chemistry*, Malaysia, 16-17 July 2002.
8. M. Hasan, S.I. Rahayu, C.L. Radiman, dan **I M. Arcana**: Sintesis kopolimer dari senyawa δ -valerolakton dan neopentil glikol alternatif prepolimer untuk sintesis poli(ester-uretan) yang bersifat mudah terbiodegradasi, *Proceeding Seminar MIPA IV-ITB*, Bandung, 2004.
9. **M. Arcana**, B. Tanajaya, C.L. Radiman, and M.A. Sulfikar: Pembentukan kopolimer dari monomer β -butirolakton dan δ -valerolakton dengan katalis aluminoksan serta karakterisasinya, *Proceeding Seminar MIPA IV – ITB*, Bandung, 2004.
10. M. Hasan, S.I. Rahayu, C.L. Radiman, **I. M. Arcana**: Sintesis poli(ester-uretan) dari senyawa β -butirolakton sebagai alternatif sintesis polimer yang mudah terbiodegradasi, *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, HKI-Bandung-UPI, Bandung, 2004
11. Rusman, Mukhlis, N.M. Surdia, dan I. M. Arcana: Sintesis poli(ester-uretan) dari asam laktat limbah susu untuk menghasilkan bahan baku yang mudah terbiodegradasi, *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, HKI-Bandung-UPI, Bandung, 2004
12. M. Arcana, B. Tanajaya, C.L. Radiman, and M.A. Sulfikar: Analisis struktur hasil kopolimerisasi dari monomer β -butirolakton dan δ -

valerolakton dengan katalis aluminoksan, *Proceeding of The Sixth UKM-ITB Joint Seminar on Chemistry*, Denpasar-BALI, 17-18 May 2005

13. M. Hasan, S.I Rahayu, C.L. Radiman, **I. M. Arcana**: Sintesis kopolimer poli(Cl-co-DP): Polioli alternatif untuk pembuatan poli(ester-uretan) yang dapat terbiodegradasi, *Proceeding of The Sixth UKM-ITB Joint Seminar on Chemistry*, Denpasar-BALI, 17-18 May 2005
14. **I. M. Arcana**, H. Mariani, S.D. Anggraini: Synthesis of Copolymers from Ethylene Glycol Derivatives and Caprolactone Monomers and their Characterizations, *Proceeding Seminar Kimia Bersama ITB-UKM Ketujuh*, Bandung, 12-13 Desember 2007, ISBN 978-979-17090-2-6
15. Aditya Ardana, and **IM. Arcana**: Effect of different length chain-extender on the properties of polyurethane, *Proceeding Seminar Kimia Bersama ITB-UKM Ketujuh*, Bandung, 12-13 Desember 2007, ISBN 978-979-17090-2-6
16. Nurhidayati, **I.M. Arcana**: Synthesis of Polyblend Polystyrene with Tapioca Starch and its Characterization, *Proceeding Seminar Kimia Bersama ITB-UKM Ketujuh*, Bandung, 12-13 Desember 2007, ISBN 978-979-17090-2-6
17. Randi Rohandi, Nemanja Miletic, Katja Loos, **I Made Arcana**: Modified Epoxy Functionalized Macroporous Resins for Candida Antarctica Lipase Immobilization, *Seminar Kimia Bersama ITB-UKM Ketujuh*, Bandung, 12-13 Desember 2007, ISBN 978-979-17090-2-6
18. M.Masykuri, C.L. Radiman, **IM. Arcana**, and S. Achmad:

Perbedaan karakter termal kopolimer poliuretan dan poli(uretan-urea, *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, UNS, 2009, ISBN 979-498-467-1

19. **I Made Arcana**, Bunbun Bundjali, M. A. Zulfikar, Randi Rohandi, and Lenggana: Preparation of Polyblends from Polystyrene with Poly-ε-caprolactone and Their Characterization, *Seminar on Research Findings Assisted by the Asahi Glass Foundation*, ITB, Bandung, 2008
20. **I Made Arcana**, M Hasan, Shinta Dewi Anggraini, and Asti Ardhyo Febrianti: Biodegradation of poly(urethane-ester) prepared from 4,4'methylene-bis(phenyl isocyanate) and block copolymers of P(CL-co-DP), *Seminar Kimia Bersama UKM –ITB Kedelapan*, Bangi-Malaysia, 9-11 Juni 2009
21. HC. Dewi, and **IM Arcana**: Modifikasi PS hasil isolasi styrofoam melalui blending dengan poli-ε-CL, *Seminar Kimia Bersama UKM –ITB Kedelapan*, Bangi-Malaysia, 9-11 Juni 2009
22. Lelly Dwi Ambarini, and **IM. Arcana**: Karakteristik polyblends antara PS tersulfonasi dengan PHB bacterial, *Seminar Kimia Bersama UKM –ITB Kedelapan*, Bangi-Malaysia, 9-11 Juni 2009.

VI. PENELITIAN YANG PERNAH DILAKUKAN:

NO.	PENELITI DAN JUDUL PENELITIAN	SUMBER DANA & TAHUN
1.	N.M. Surdia, C.L. Radiman, I Made Arcana : Biodegradable polymers from natural resources	Anggota tim peneliti Hibah Tim: Research Grant Bath IV-URGE - DIKTI (1998-2000)

NO.	PENELITI DAN JUDUL PENELITIAN	SUMBER DANA & TAHUN
2.	I Made Arcana , N.M. Surdia: Polimerisasi pembukaan cincin senyawa (R,S)- β -butirolakton dengan katalis distanoksan dan karakterisasinya	Ketua Peneliti Riset Unggulan Terpadu VII KMNRT -LIPI-DRN (1999-2000)
3.	N.M. Surdia, I Made Arcana : Impregnasi reaktif kayu dari kelapa sawit menggunakan polyolefin hasil daur ulang	Anggota Tim Peneliti Hibah Pakerti URGE-DIKTI (2000)
4.	I Made Arcana , Bubun Bundjali: Ring-opening copolymerization of racemic β -BL with ϵ -CL by using distannoxane catalyst	Ketua Tim Peneliti Project QUE, Dept. Kimia ITB (2000)
5.	Yoharmus Syamsu, I Made Arcana : Kopolimerisasi lateks alam dengan senyawa hidrofilik dari lateks berprotein rendah	Anggota Tim Peneliti Riset Unggulan Terpadu VIII KMNRT-LIPI-DRN (2001-2003)
6.	I Made Arcana , Bubun Bundjali: The influence of additive compounds on mechanical properties of polypropylene block copolymers	Ketua Tim Peneliti Project QUE, Dept. Kimia ITB (2002)
7.	I Made Arcana , C.L Radiman, M.A. Zulfikar: Kopolimerisasi beberapa senyawa lakton untuk menghasilkan bahan plastik yang mudah terbiodegradasi	Ketua Tim Peneliti Hibah Bersaing X-DIKTI (2002-2003)
8.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M.A. Zulfikar: Modification of polypropylene impact copolymer by blending with	Ketua Tim Peneliti Osaka Gas Foundation of

NO.	PENELITI DAN JUDUL PENELITIAN	SUMBER DANA & TAHUN
	polycaprolactone	International Cultural Exchange (OGFICE) - Japan (2002-2003)
9.	I Made Arcana , N.M. Surdia, Bunbun Bundjali: Synthesis of polyblends from polypropylene with poly(R,S)- β -hydroxybutyrate to produce biodegradable polymer	Ketua Tim Peneliti Asahi Glass Foundation (AGF)-Japan (2003-2004)
10.	I Made Arcana , N.M. Surdia: Sintesis kopolimer poli(ester-uretan) dari asam laktat limbah susu untuk menghasilkan bahan plastik yang mudah terbiodegradasi	Ketua Tim Peneliti Hibah Pakerti - DIKTI (2003-2004)
11.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali: Pembuatan poli(uretan-ester) dari prepolimer propandiol-lakton dengan senyawa diisosianat untuk bahan plastik yang mudah terbiodegradasi (Biodegradable polymers)	Ketua Tim Peneliti Riset Unggulan -ITB (2004-2005)
12.	I Made Arcana , Aminudin Sulaiman, M.A. Zulfikar: Modifikasi polipropilen dengan senyawa lakton untuk bahan plastik yang mudah terbiodegradasi (Biodegradable polymers)	Ketua Tim Peneliti Hibah Bersaing XIII-DIKTI (2005-2006)
13	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, Synthesis of new biodegradable polymers by modification of polystyrene with polylactone	Ketua Tim Peneliti Competition-Based Program, Hibah B-Program Studi

NO.	PENELITI DAN JUDUL PENELITIAN	SUMBER DANA & TAHUN
		Kimia, FMIPA, ITB (2005-2006)
14.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali: Sintesis kopolimer dari 2,2-dimetil-1,3-propandiol dan δ -valerolakton untuk bahan plastik yang mudah terbiodegradasi	Ketua Tim Peneliti Riset KK ITB (2006)
15.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M. Ali Zulfikar: Preparation of biodegradable polymers by modification of polystyrene with polycaprolactone	Asahi Glass Foundation (AGF)-Japan, 2007-2008
16.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M. Ali Zulfikar: Sintesis poliuretan dari poli (2,2-dimetil-1,3-propandiol-blok-caprolakton untuk bahan plastik yang mudah terbiodegradasi (Biodegradable polymers)	Ketua Tim Peneliti Hibah Bersaing XV-DIKTI, 2007-2008
17.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M. Ali Zulfikar: Pemanfaatan limbah industri pulp dan kertas untuk pembuatan membrane komposit sel bahan bakar	Ketua Tim Peneliti Program Insentif Riset Dasar, RISTEK, 2008-2010
18.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M. Ali Zulfikar: Pembuatan membran polimer elektrolit untuk sel bahan bakar dari sampah plastik Styrofoam dan karakterisasinya	Ketua Tim Peneliti Riset KK-LPPM, ITB, 2009
19.	M. Ali Zulfikar, I Made Arcana , Bunbun Bundjali: Pembuatan Prototif Sel Bahan Bakar	Anggota Tim Peneliti Riset Unggulan Strategis Nasional, DIKTI, 2009

NO.	PENELITI DAN JUDUL PENELITIAN	SUMBER DANA & TAHUN
20.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M. Ali Zulfikar: Pemanfaatan limbah plastik Styrofoam untuk bahan plastik yang mudah terbiodegradasi (Biodegradable polymers)	Ketua Tim Peneliti Program Hibah Kompetensi, Bath II-DIKTI, 2009-2011
21.	Bunbun Bundjali, I Made Arcana , M. Ali Zulfikar: Pembuatan polimer elektrolit yang ramah lingkungan untuk aplikasi baterai litium serta karakterisasinya	Anggota Tim Peneliti Program Hibah Bersaing Perguruan Tinggi, DIKTI, 2010-2011
22.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali, M. Ali Zulfikar: Preparation of biodegradable polymer electrolyte for lithium batteries from Styrofoam waste	Ketua Tim Peneliti Asahi Glass Foundation (AGF) -Japan 2010-2011
23.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali: Pengaruh silikon oksida pada karakteristik membran polimer elektrolit sel bahan bakar dari sampah plastik stirofoam	Ketua Tim Peneliti Program Riset dan Inovasi KK ITB 2011
24.	I Made Arcana , Bunbun Bundjali: Pembuatan polimer elektrolit dari selulosa asetat untuk aplikasi baterai yang ramah lingkungan	Ketua Tim Peneliti Program Penguatan Riset Institusi - ITB 2010/2011

VII. PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT:

NO.	KEGIATAN	TEMPAT	TAHUN	KET.
1.	Program Retooling (Technological and Professional Skill Develop-	ITB	2004	Pelatihan

<i>NO.</i>	<i>KEGIATAN</i>	<i>TEMPAT</i>	<i>TAHUN</i>	<i>KET.</i>
	ment Sector Project, ADB Loan No. 1792-INO-LPPM-ITB, January-April 2004			
2.	Ikut sebagai anggota gugus kerja Deterjen, Urusan Stardarisasi dan Ekologi, Kementerian Lingkungan Hidup (KLH-RI	KLH RI	2005	Konsultasi
3.	Bedah Teknis Klaim Produk Ramah Lingkungan	KLH RI	2005	Pakar
4.	Tim Konsensus Penyusunan Penetapan Migrasi Kemasan Pangan, SNI-Badan POM RI	BSN- Jakarta	2010-2011	Pakar
5.	Tim Ahli Evaluasi dan Peman-tauan Buku Teks, BSNP	BSNP- Jakarta	2011	Anggota
6.	Tim Evaluasi Kurikulum 2008 dan Penyusunan Kurikulum 2013, FMIPA-ITB	FMIPA ITB	2011	Anggota

VIII. PENGHARGAAN:

<i>NO.</i>	<i>NAMA PENGHARGAAN</i>	<i>PEMBERI PENGHARGAAN</i>	<i>TAHUN</i>
1	Satyalencana Karya Satya 10 Tahun	Presiden Republik Indonesia (Megawati Soekarno Putri)	2003
2	Penyaji Terbaik pada Seminar Nasional Hasil Penelitian Multi Tahun 2010	Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masya-rakat (DP2M) (Suryo Hapsoro Tri Utomo	2010