

GREEN PACKAGING BERBASIS BIOMATERIAL: KARAKTERISTIK MEKANIK DAN KETAHANAN TERHADAP MIKROBA PENGURAI FILM KEMASAN DARI KOMPOSIT PATI TROPIS-PLA-KHITOSAN

Feris Firdaus¹⁾, Sri Mulyaningsih²⁾, Hady Anshory³⁾

Kimia Material, Lingkungan, Pangan, Pusat Sains dan Teknologi DPPM UII Yogyakarta¹⁾

Email : fiva_izause@yahoo.com

Mikrobiologi, Jurusan Farmasi FMIPA UII Yogyakarta^{2,3)}

Abstract

Tropical starch has a big potential to be raw material for biodegradable packaging film. Tropical starch can be fermented to produce lactic acid then lactic acid also can be polymerized to produce poly lactic acid (PLA). Besides, chitosan also has strategic potential to be anti-microbial agent that can be blended with tropical starch and PLA as a anti-microbial packaging film to increase food preservation. Chitosan used in this research has degree of deacetylation (DD): 76.466 %. The research yield show that biodegradable packaging film made of tropical starch-PLA-chitosan composites with added plasticizer 1 % has good enough mechanical characteristic; tensile strength 104.42 N/m², elongation 33.799 %, elastic modulus 309.543 N/m², although it still need to improved so it can be compared with conventional packaging films. The packaging film has relatively sort time to defend of microbial attack. This research is still the beginning, so it still needs to improve especially in synthesizing eco-friendly packaging film made of tropical starch-PLA-chitosan composites with qualified properties.

Keywords : tropical starch-PLA-chitosan composites, eco-friendly packaging film

PENDAHULUAN

Setiap tahun sekitar 100 juta ton plastik sintetik diproduksi dunia untuk digunakan di berbagai sektor industri, dan kira-kira sebesar itulah sampah plastik yang dihasilkan setiap tahun. Sesuai perkiraan Industri Plastik dan Olefin Indonesia (INAPlas) disebutkan, kebutuhan plastik masyarakat Indonesia di tahun 2002 sekitar 1,9 juta ton kemudian meningkat menjadi 2,1 juta ton di tahun 2003. Sementara kebutuhan plastik dalam negeri di tahun 2004 diperkirakan mencapai 2,3 juta ton [1]. Plastik telah menjadi kebutuhan hidup yang terus meningkat jumlahnya. Plastik yang digunakan saat ini merupakan polimer sintetik, terbuat dari minyak bumi (*non-renewable*) yang tidak dapat terdegradasi mikroorganisme di lingkungan. Kondisi demikian ini menyebabkan kemasan plastik sintetik tersebut tidak dapat dipertahankan penggunaannya secara meluas karena akan menambah persoalan lingkungan dan kesehatan diwaktu mendatang. Berdasarkan fakta dan kajian ilmiah yang ada serta meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan dan lingkungan lestari, mendorong dilakukannya penelitian dan pengembangan teknologi bahan kemasan yang *biodegradable* [2].

Proyeksi kebutuhan plastik *biodegradable* hingga tahun 2010 yang dikeluarkan oleh Japan *Biodegradable Plastic Society* ; di tahun 1999,

produksi plastik *biodegradable* hanya sebesar 2500 ton, yang merupakan 1/10.000 dari total produksi bahan plastik sintetik. Pada tahun 2010, diproyeksikan produksi plastik *biodegradable* akan mencapai 1.200.000 ton atau menjadi 1/10 dari total produksi bahan plastik dunia. Industri plastik *biodegradable* akan berkembang menjadi industri besar di masa yang akan datang. Poli asam laktat (*poly-lactic acid/PLA*) merupakan biopolimer (*polyester*) yang dapat diproduksi menggunakan bahan baku sumberdaya alam terbaru seperti pati dan selulosa melalui fermentasi asam laktat. PLA mempunyai titik leleh yang tinggi sekitar 175o C, dan dapat dibuat menjadi lembaran film yang transparans. Perusahaan-perusahaan besar dunia mulai bergerak untuk memproduksi PLA, seperti Cargill-Dow Chemicals Co. yang akan memproduksi PLA dengan skala 140.000 ton/tahun dengan memanfaatkan pati jagung. Sedangkan di Jepang, perusahaan Shimadzu Co. dan Mitsui Chemicals Co. juga memiliki plant produksi PLA. Perusahaan Toyota kabarnya juga akan mendirikan plant industri PLA di Indonesia dengan memanfaatkan pati ubi jalar. Tampaknya PLA akan menjadi primadona plastik *biodegradable* di masa datang. Indonesia kaya akan sumberdaya alam, diantaranya pati-patian tropis dari umbi-umbian khas Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan plastik *biodegradable* [3].

Perkembangan terakhir di bidang teknologi pengemasan adalah suatu kemasan yang bersifat antimikroba (*Antimicrobial food packaging*). Keuntungan utama kemasan tersebut adalah dapat bersifat seperti halnya bahan-bahan yang mengandung antiseptik seperti sabun, cairan pencuci tangan yaitu berfungsi untuk mematikan kontaminan mikroorganisme (kapang, jamur, bakteri) secara langsung pada saat mikroba kontak dengan bahan kemasan, sebelum mencapai bahan/produk pangan di dalamnya. Salah satu proses yang memegang peranan penting dalam produksi bahan kemasan bersifat antimikroba adalah proses penambahan bahan antimikroba pada bahan kemasan. Bahan aktif antimikroba yang telah dipakai antara lain zeolit yang tersubstitusi oleh logam perak, triklosan, klorin dioksida, glukosa oksidase, karbondioksida [4]. Untuk perkembangan di masa mendatang akan dikembangkan kemasan bersifat antimikroba dengan bahan kemasan yang mempunyai permukaan aktif atau sekaligus bersifat antimikroba seperti khitosan, khitosan oligosakarida atau derivatif khitosan lainnya. Penggunaan bahan kemasan bersifat antimikroba diprediksi akan semakin meningkat di masa depan, terutama dengan sifat dan fungsinya yang menjanjikan untuk proses manufaktur dan pengemasan di industri pangan dan farmasi. Pengemasan sekaligus memperpanjang usia hidup dan kehidupan ke tingkat yang lebih baik.

Potensi khitosan yang dapat disintesis dari limbah cangkang udang, rajungan, kepiting dan *crustaceae* lainnya sangat besar di Indonesia. Contoh, udang, selama ini potensi udang Indonesia rata-rata meningkat sebesar 7,4 % per tahun. Data tahun 2001; potensi udang nasional mencapai 633.681 ton. Apabila asumsi laju peningkatan tersebut tetap maka pada tahun 2004 potensi udang diperkirakan sebesar 785.025 ton. Dari proses pembekuan udang untuk ekspor, 60 - 70 % dari berat total udang menjadi limbah (bagian kulit, kepala dan ekor) sehingga diperkirakan akan dihasilkan limbah udang sebesar 510.266 ton. Cangkang udang mengandung zat khitin sekitar 99,1 %. Jika diproses lebih lanjut dengan melalui beberapa tahap, akan dihasilkan khitosan. Khitosan memiliki sifat larut dalam suatu larutan asam organik, tetapi tidak larut dalam pelarut organik lainnya seperti *dimetil sulfoksida* dan juga tidak larut pada pH 6,5. Sedangkan pelarut khitosan yang baik adalah asam asetat [5, 6].

Di Indonesia penelitian dan pengembangan teknologi kemasan plastik *biodegradable* masih sangat terbatas. Hal ini terjadi karena selain kemampuan sumber daya manusia dalam penguasaan ilmu dan teknologi bahan, juga dukungan dana penelitian yang terbatas. Dipahami bahwa penelitian dalam bidang ilmu dasar memerlukan waktu lama dan dana yang besar. Sebenarnya prospek pengembangan biopolimer untuk kemasan plastik *biodegradable* di Indonesia sangat potensial. Alasan ini didukung oleh adanya sumber daya alam, khususnya hasil pertanian yang melimpah dan dapat diperoleh

sepanjang tahun (*sustainable/renewable*). Berbagai hasil pertanian yang potensial untuk dikembangkan menjadi biopolimer adalah umbi-umbian tropis khas Indonesia (singkong, ubi jalar dan sebagainya), jagung, sagu, kacang kedele, kentang, tepung tapioka, ubi kayu (nabati), khitin, khitosan dari kulit udang, rajungan, kepiting dan jenis *crustaceae* lainnya (hewani). Kekayaan akan sumber bahan dasar seperti tersebut di atas, justru sebaliknya menjadi persoalan potensial yang serius pada negara-negara yang telah maju dan menguasai ilmu dan teknologi kemasan *biodegradable*, khususnya di Jerman, Prancis, Jepang, Amerika Serikat, Inggris dan Swiss. Negara-negara tersebut dengan penguasaan IPTEK yang tinggi di bidang teknologi kemasan, merasa khawatir kekurangan sumber bahan dasar (*raw materials*) yang *sustainable/renewable* dan akan menjadi sangat tergantung pada negara yang kaya akan sumber daya alam seperti Indonesia. Bukan tidak mungkin kelak Indonesia dengan penguasaan teknologinya akan menjadi produsen terbesar kemasan plastik *biodegradable* di dunia.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitiannya menggunakan design penelitian eksperimen murni di laboratorium (*true experimental research*). Penelitian yang akan dilakukan adalah sintesis komposit pati tropis-poli asam laktat (*poly-lactic acid/PLA*)-khitosan sebagai material utama dalam produksi kemasan plastik *biodegradable* yang berfungsi sebagai kemasan pelindung dan sekaligus pengawet (antimikroba) produk pangan Indonesia yang sehat, aman dan ramah lingkungan (*eco-friendly*). Tujuannya adalah untuk meningkatkan ketahanan produk industri pangan di Indonesia khususnya untuk produk pangan yang memiliki waktu simpan relatif pendek.

Bahan dan Peralatan

Bahan baku utama (primer) yang diperlukan dalam penelitian ini adalah pati tropis yang diekstraksi dari singkong dan ubi jalar khas Indonesia, khitosan yang disintesis dari limbah cangkang udang dan rajungan yang sangat melimpah di Indonesia dan poli asam laktat (PLA) yang dipolimerisasi dari asam laktat dimana asam laktat sendiri dapat disintesis dari pati-patian tropis. Bahan lainnya (sekunder) yang diperlukan dalam proses produksi adalah *glycerol* sebagai *coupling agent/compatibilizer*, Aquades, pentanol-1 dan I₂-KI untuk proses ekstraksi dan reayasa pati tropis, HCL, NaOH dan asam asetat digunakan dalam proses sintesis dan sampling khitosan dari limbah cangkang udang dan rajungan, timah (II) klorida digunakan sebagai katalis dalam proses polimerisasi asam laktat menjadi PLA, *acetone* digunakan untuk melapisi cetakan plastik agar tidak lengket.

Peralatan utama yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR/Awatar-Nicolet), *Scanning Electron Microscope* (SEM) atau *Electric Microscope-Integrated Colour Printout* (Nikon Labophot dan Nikon HFX-DX) untuk uji dan analisis morfologi produk film plastik *biodegradable* yang dihasilkan, cetakan plastik (PE) digunakan untuk mencetak produk film, oven dan desikator digunakan untuk finishing dan conditioning, bejana gelas, thermometer dan kompor elektrik digunakan dalam proses polimerisasi dan proses blending komposit, grander dan soft blender digunakan untuk proses pra-treatment singkong, ubi jalar, cangkang udang.

Tahapan Penelitian

Metodologi penelitiannya menggunakan design penelitian eksperimen murni di laboratorium (*true experimental research*). Adapun tahapan-tahapan metode penelitian yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah tersebut adalah :

1. Ekstraksi pati dari umbi-umbian tropis khas Indonesia (singkong dan ubi jalar) kemudian direkayasa dengan pentanol-1 untuk memutus ikatan dan mengkompositkan kembali amilosa-amilopektin [7].
2. Sintesis khitosan dari cangkang udang dan rajungan melalui proses demineralisasi, deproteinisasi dan deasetilasi, dilanjutkan dengan pelarutan khitosan dalam asam asetat encer [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].
3. Polimerisasi asam laktat menjadi PLA dengan metode *ring opening polymerization* dengan katalis Timah (II) klorida [15, 16, 17, 18, 19].
4. Sintesis film plastik *biodegradable* dari komposit pati tropis-PLA-khitosan menggunakan teknik *sol-gel reaction* dengan memodifikasi/merekayasa metode sintesis komposit sebelumnya dan analisis morfologinya [20, 21, 7, 3, 9].

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mekanik Film Kemasan yang Dihasilkan

Karakteristik mekanik film kemasan yang dihasilkan ternyata relatif bersaing/kompetitif jika dibandingkan dengan karakteristik mekanik produk film kemasan konvensional (poliethilene) yang beredar di pasaran (tabel 1). Tetapi karakteristik mekanik dan karakteristik lainnya masih memerlukan upaya optimasi lanjutan secara lebih komprehensif agar produk film kemasan yang dihasilkan memiliki fungsi yang lebih luas dan lebih *applicable*.

Tabel 1. Karakteristik Mekanik film kemasan yang dihasilkan

No	Film Kemasan	Kuat Tarik (N/m ²)	Elongasi (%)	Modulus (N/m ²)
1.	Komposit pati tropis-khitosan (95:5 %)- <i>plasticizer</i> 2,5 %	58,86	30,333	194,046
2.	Komposit pati tropis-PLA (95:5 %)- <i>plasticizer</i> 2,5 %	18,686	10,166	183,851
3.	Komposit pati tropis-PLA-khitosan (98:1:1 %)- <i>plasticizer</i> 1,5 %	58,86	21,00	280,305
4.	Komposit pati tropis-PLA-khitosan (98:1:1 %)- <i>plasticizer</i> 1 %	104,42	33,799	309,543
5.	Komposit pati tropis-PLA-khitosan (98:1:1 %)- <i>plasticizer</i> 0,5 %	91,56	17,066	536,458
6.	Polietilena (pembanding)	163,5	25,75	634,95

Tampak dalam tabel 1 tersebut bahwa karakteristik mekanik film kemasan yang dihasilkan dari komposit tersebut bervariasi sesuai dengan karakteristik material yang terlibat. Terbukti bahwa semakin banyak PLA yang ditambahkan ternyata menyebabkan film kemasan yang dihasilkan menjadi higroskopis sehingga karakteristik mekaniknya menjadi rendah. Di samping itu juga terbukti bahwa semakin banyak *plasticizer* yang ditambahkan ternyata menyebabkan film kemasan yang dihasilkan menjadi semakin higroskopis sehingga karakteristik mekaniknya menurun. Secara kuantitatif karakteristik mekanik film kemasan yang dihasilkan tampak jauh lebih rendah dibandingkan dengan karakteristik mekanik film kemasan konvensional dari polietilena. Tetapi karakteristik mekanik suatu film kemasan dapat disesuaikan dengan nilai fungsi di tingkat aplikasinya karena tidak semua aplikasi kemasan diperuntukkan untuk kemasan yang memiliki karakteristik mekanik tinggi. Berdasarkan data karakteristik mekanik film kemasan dalam tabel 1 tersebut tampak bahwa karakteristik mekanik film kemasan yang berhasil disintesis dari komposit pati tropis-PLA-khitosan dengan *plasticizer* 1 % menunjukkan hasil yang memuaskan dan paling optimal dibanding film kemasan yang dihasilkan dari komposit lainnya. Karakteristik mekanik film kemasan yang dihasilkan tersebut masih membutuhkan upaya optimasi lebih lanjut dan komprehensif agar diperoleh karakteristik mekanik yang lebih tinggi dan dapat bersaing dengan film kemasan konvensional.

Ketahanan Film Kemasan terhadap Mikroba Pengurai

Ketahanan film kemasan yang disintesis dari pati tropis-khitosan diuji di permukaan tanah yakni di tempat pembuangan sampah yang terlindungi dari sinar matahari secara langsung dan tidak terkena air selama 5 bulan dengan kelembaban udara 18-23 %. Secara lebih jelas hasil uji ketahanan film kemasan terhadap

mikroba pengurai dapat diamati dalam gambar 1 berikut.

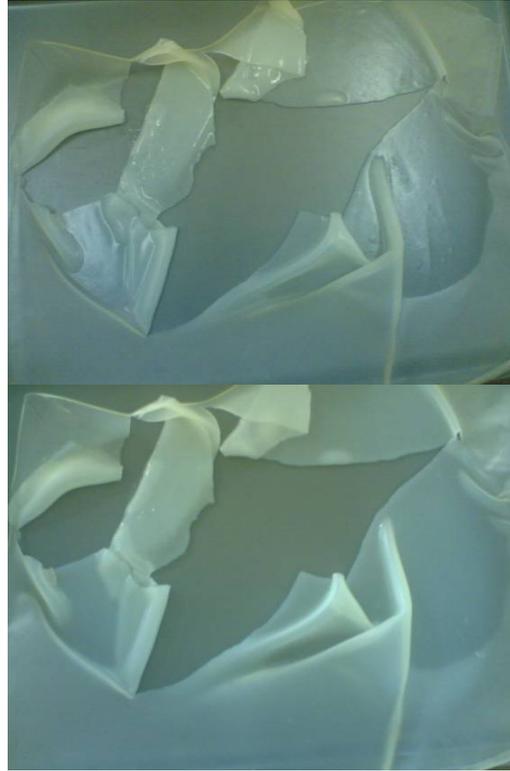


Gambar 1. Film kemasan dari pati tropis-khitosan (95:5 %)-plasticizer 2,5 %

Tampak dalam gambar 18 tersebut bahwa pada bulan ke-3 telah ditumbuhi jamur dan bakteri pengurai dan pada bulan ke-5 telah mengalami proses degradasi secara jelas yang ditandai dengan adanya serangan jamur dan bakteri pengurai sehingga film kemasan tersebut telah terdegradasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat degradasi yang jelas yakni kerusakan akibat proses degradasi oleh jamur dan bakteri pengurai. Berangkat dari hasil uji ketahanan film kemasan yang disintesis dari pati tropis-khitosan tersebut maka dapat ditarik sebuah informasi penting bahwa film kemasan yang dihasilkan tidak akan menimbulkan permasalahan sampah bagi lingkungan (*eco-friendly packaging*). Tetapi hal itu juga dapat menjadi titik kelemahan film kemasan yang dihasilkan karena ternyata khitosan yang ditambahkan tidak mampu melindungi pati tropis dari serangan mikroba pengurai sehingga tidak mampu bertahan dalam kondisi ekstrim sehingga dalam aplikasinya sebagai kemasan akan menjadi terbatas dalam kondisi tertentu saja.

Ketahanan film kemasan yang disintesis dari pati tropis-PLA diuji dalam lokasi dan kondisi yang sama dengan film kemasan dari komposit pati tropis-khitosan. Hasil pengamatan menunjukkan adanya kerusakan secara jelas pada bulan ke-3 karena faktor higroskopis dan bukan akibat proses degradasi oleh

jamur dan bakteri pengurai, bahkan tidak ditemui adanya jamur yang tumbuh di permukaan film kemasan dari pati tropis-PLA. Secara lebih jelas hasil uji ketahanan film kemasan dapat diamati dalam gambar 2 berikut.



Gambar 2. Film kemasan dari komposit pati tropis-PLA (95:5 %)-plasticizer 2,5 %

Tampak dalam gambar 2 tersebut bahwa pada bulan ke-2, film kemasan telah mengalami kerusakan secara jelas yang ditandai dengan lembeknya film kemasan karena faktor higroskopis sehingga film kemasan tersebut dapat terdegradasi karena sangat higroskopis dan bukan terdegradasi karena mikroba pengurai. Hal itu menunjukkan bahwa PLA tahan terhadap serangan mikroba pengurai tetapi tidak tahan terhadap kelembaban udara karena sifat higroskopisitas yang dimiliki sangat tinggi.

Ketahanan film kemasan yang disintesis dari pati tropis-PLA-khitosan diuji dalam lokasi dan kondisi yang sama dengan film kemasan dari komposit pati tropis-khitosan dan komposit pati tropis-PLA. Secara lebih jelas hasil uji ketahanan film kemasan dari komposit dapat diamati dalam gambar 3 berikut:



Gambar 3. Film kemasan dari pati tropis-PLA-khitosan (98:1:1 %) -plasticizer 1 %

Tampak dalam gambar 3 tersebut bahwa pada bulan ke-5 terdapat perubahan fisik karena faktor higroskopis dan bukan akibat proses degradasi oleh jamur dan bakteri pengurai, bahkan tidak ditemui adanya jamur yang tumbuh di permukaan film kemasan dari pati tropis-PLA-khitosan. Berangkat dari hasil uji ketahanan film kemasan yang disintesis dari pati tropis-PLA-khitosan tersebut maka dapat ditarik sebuah informasi penting bahwa film kemasan yang dihasilkan tidak akan menimbulkan permasalahan sampah bagi lingkungan (*eco-friendly packaging*). Tetapi hal itu juga dapat menjadi titik kelemahan film kemasan yang dihasilkan karena dipandang kurang dapat bertahan dalam kondisi ekstrim sehingga dalam aplikasinya sebagai kemasan akan menjadi terbatas dalam kondisi tertentu saja.

Upaya optimasi secara berkelanjutan dan komprehensif sangat diperlukan ke depan untuk mendapatkan formulasi optimal dalam proses sintesis film kemasan dari komposit pati tropis-PLA-khitosan. Penelitian ini masih tergolong awal dan masih memerlukan upaya pengembangan secara lebih komprehensif untuk memperoleh hasil berupa formula film kemasan ramah lingkungan yang memiliki karakteristik fisikokimia dan karakteristik mekanik yang lebih optimal. Ada beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai fokus pengembangan lanjut ke depan yakni persentase komposisi masing-masing bahan baku yang diperlukan

dan persentase *plasticizer* yang diperlukan juga sangat signifikan dalam mempengaruhi kualitas film kemasan yang dihasilkan. Karakteristik mekanik dan ketahanan (*durability*) film kemasan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh persentase komposisi bahan baku dan *plasticizer* yang ditambahkan. Ketahanan khitosan dalam menghambat laju pertumbuhan dan serangan mikroba pengurai ternyata masih belum optimal sehingga diperlukan upaya optimasi karakteristik fisikokimia khitosan yang dihasilkan untuk meningkatkan aktivitas antimikrobanya.

SIMPULAN

Film kemasan yang disintesis dari komposit pati tropis-PLA-khitosan (98: 1: 1 %) dengan *plasticizer* 1 % memiliki karakteristik morfologi paling halus dan trasparan serta memiliki karakteristik mekanik paling optimal yakni kuat tarik: 104,42 N/m², elongasi: 33,799 %, dan modulus: 309,543 N/m². Semakin banyak PLA yang ditambahkan ternyata film kemasan yang dihasilkan memiliki karakteristik morfologi yang lebih kasar, kurang transparan, dan memiliki karakteristik mekanik yang lebih rendah. Semakin banyak *plasticizer* (gliserol) yang ditambahkan ternyata film kemasan yang dihasilkan secara morfologis tampak semakin higroskopis dan semakin *porous* sehingga karakteristik mekaniknya menjadi semakin rendah, sebaliknya semakin sedikit *plasticizer* (gliserol) yang ditambahkan ternyata film kemasan yang dihasilkan semakin tahan terhadap kelembaban (tidak higroskopis) dan tidak *porous* sehingga karakteristik mekaniknya menjadi semakin tinggi. Oleh sebab itu persentase *plasticizer* paling optimal adalah 1 %.

Film kemasan yang disintesis dari komposit pati tropis-khitosan terdegradasi oleh mikroba pengurai secara signifikan pada bulan ke-3. Film kemasan dari komposit pati tropis-PLA mengalami kerusakan sangat signifikan karena higroskopis pada bulan ke-2. Film kemasan dari komposit pati tropis-PLA-khitosan mengalami perubahan fisik secara jelas karena faktor higroskopis pada bulan ke-5. Khitosan tidak mampu melindungi film kemasan dari serangan mikroba pengurai tetapi mampu melindungi dari efek higroskopis. PLA yang ditambahkan mampu melindungi film kemasan dari serangan mikroba pengurai tetapi tidak mampu melindungi diri dari efek higroskopis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih yang tak terhingga dari tim peneliti, disampaikan kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi RI yang telah membiayai berbagai riset yang dilakukan peneliti dalam Program Insentif Riset Terapan tahun 2007-2008.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Martaningtyas, D. (2004). Potensi Plastik Biodegradable, 02 September 2004. <http://www.pikiran-rakyat.com/cetak/0904/02/cakrawala/lainnya06.htm>
- [2] Latief, R. (2001). Teknologi Kemasan Plastik Biodegradable, Makalah Falsafah Sains (PPs 702) Program Pascasarjana/S3 IPB, Bandung, http://www.hayati-ipb.com/users/rudyct/indiv2001/rindam_latief.htm
- [3] Pranamuda, H. (2003). Pengembangan Bahan Plastik Biodegradabel Berbahanbaku Pati Tropis, <http://www.std.ryu.titech.ac.jp/~indonesia/zoa/paper/html/paperHardaningPranamuda.html>
- [4] Rismana, E. (2004). Kemasan Antimikroba, 18 Maret 2004. P3TFM, BPPT Jakarta. <http://pikiran-akyat.com/cetak/0304/18/cakrawala/lainnya04.htm>
- [5] Prasetyo, K.W., 2004, Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Bahan Pengawet Kayu Ramah Lingkungan, S Hut UPT Balitbang Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor.
- [6] Marganof, (2003). Potensi Limbah Udang sebagai Penyerap Logam Berat (timbal, kadmium dan tembaga) di Perairan. Makalah Pengantar Falsafah Sains (PPS702), Program Pasca Sarjana / S3, Institut Pertanian Bogor.
- [7] Firdaus F, Mulyaningsih S., Darmawan E. (2005). Peningkatan Karakteristik Mekanik dan Ketahanan Air Film Plastik Biodegradable dari Pati Singkong dengan Perlakuan Penthanol-1 dalam Proses Polimerisasi. *Jurnal Sain dan Teknologi EKSAKTA* ISSN 1411-1047, Vol. 07, No.02, Edisi Agustus 2005, Hal. 34-40.
- [8] Firdaus F, Darmawan E., Mulyaningsih S. 2007. Derajat Deasetilasi (DD) Khitin dan Khitosan yang Dipengaruhi oleh Proses Demineralisasi, Deproteinisasi, Deasetilasi I, dan Deasetilasi II. *Jurnal TEKNOIN* ISSN 0853-8697 (Terakreditasi) Edisi Juni 2007. Bagian dari Riset tahun I (2007) yang dibiayai dalam Program Insentif Riset Terapan oleh Kementerian Negara Riset dan Teknologi RI.
- [9] Firdaus F, Mulyaningsih S., Darmawan E. (2006). Komposit Pati-Khitosan sebagai Material Utama Film Plastik Biodegradable : studi awal terhadap morfologi, karakteristik mekanik dan ketahanan air. *Jurnal Sain dan Teknologi EKSAKTA* ISSN 1411-1047, Vol.08, No.01, Edisi Februari 2006, Hal. 8-14.
- [10] Dhewanto W and Kresnowati MTAP. (2002). Chitosan Industry, An Alternative for Maritime Industry Empowerment in Indonesia, ISSN 0855-8692 © ISSM-2002 Committee: ISTECS-Eropa, FDIB and BIBC.
- [11] Hartarti, F.K., Susanto, T., Rakhmadiono, S., dan Lukito, A.S. 2002. Faktor- Faktor yang Berpengaruh terhadap Tahap Deproteinisasi Menggunakan Enzim Protease dalam Pembuatan Khitin dari Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*). *BIOSAIN*, VOL. 2, NO. 1 : 68-77.
- [12] Ferrer, J. G. Paez, Z. Marmol, E. Ramons, H. Garcia and C.F. Forster, 1996, Acid hydrolysis of Shrimp ShellWastes and The Production of Single Chell Protein from The Hydrolysate, *Journal Bioresour Technology* 57(1):55-60.
- [13] Arreneuz, S., 1996, Isolasi Khitin dan Transformasinya menjadi Khitosan dari Limbah Kepiting Bakau (*Seylla Serrata*), Skripsi, Universitas Jendral Ahmad Yani, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bandung.
- [14] Fahmi, R., 1997, Isolasi dan Transformasi Khitin Menjadi Khitosan, *Jurnal Kimia Andalas*. 3 (1) : 61 – 68.
- [15] Auras R., Harte H., Selke S., and Hernandez RJ. (2003). Mechanical, Physical, and Barrier Properties of Polylactic Acid Films. School of Packaging, MSU, East Lansing, MI. 48824-1223. USA.
- [16] Drumright, R.E.; Patrick R.G; Henton, D. E. (2000), *Polylactic Acid Technology*. *Advanced Materials*, 12(23): p. 1841-1846.
- [17] Narayanan N., Roychoudhury PK., and Srivastava A. (2004). L (+) Lactic Acid Fermentation and Its Product Polymerization, *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN: 0717-3458 Vol. 7 No. 2, Issue of August 15, 2004.
- [18] Hartmann, M.H. (1998), High Molecular Weight Polylactic Acid Polymers, In: *Byopolymers from Renewable Resources*, D.L. Kaplan, Editor. Springer: New York, p. 367-411.
- [19] Witzke, D.R. (1997), Introduction to Properties, Engineering, and Prospects of Polylactide Polymers, PhD Thesis, Department of Chemical Engineering, Michigan State University, East Lansing, Michigan, p.32-72.
- [20] Huda S., Drzal LT., Mohanty AK., Misra M., Williams K., and Mielewski DF. (2005). Mechanical, Thermal and Morphological Studies of Poly (lactic acid) PLA/Talc/Recycled Newspaper Fiber Hybrid 'Green' Composites. 8th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. May 23-25, 2005. Wisconsin.
- [21] Sun X.S. dan Seib P. (2001). Biodegradable Plastics From Wheat Starch and Polylactic Acid (PLA). Progress report: Third Quarter FY 01 (Jan. 1, - Mar. 31, 2001). KSU Dept. Of Grain Science and Industry, Kansas.