

## Studi Sifat Fisis, Kimia, dan Morfologi pada Kemasan Makanan Berbahan Styrofoam dan LDPE (Low Density Polyethylene): Telaah Kepustakaan

Vuri Ayu Setyowati, Eriek Wahyu Restu Widodo  
Teknik Mesin – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
Jl. Arief Rahman Hakim 100 Surabaya, 60117  
Email : vuri@itats.ac.id

### Abstract

*The plastic packaging, styrofoam, plastic bag are the most used container for foods and beverages around the world. It's caused either low price and practical using or hot and cold resistance. Beside it has positive effect, the container has negative effect because of heat temperature will react with other chemical from the plastic container. It will be caused cancer because of dioctyl phthalate (DOP) of toxin. According of the research result using analysis of physic, chemical properties, and morphology, migration process happened because of polymer contact the food that caused decreasing food quality. The LDPE migrates on 90°C. The container using for hot condition results cutting of chemical bound that need to modify the polymer used. Increasing the thermal shielding of polymer, including LDPE and polystyrene can be used the additional functional element method that can decrease the migration of element through copolymerization or nano-composite precess.*

**Keywords:** dioctyl phthalate (DOP), LDPE, polystyrene, physic and chemical properties, morphology

### Abstrak

*Wadah kemasan plastik, styrofoam, dan kantong plastik merupakan pengemas makanan dan minuman yang paling banyak digunakan saat ini di berbagai belahan dunia. Hal ini dikarenakan selain harganya murah dan praktis, juga karena kemampuan bertahan dalam kondisi panas maupun dingin. Selain memiliki dampak yang baik, pengemasan tersebut juga memiliki dampak negatif karena makanan panas yang dibungkus akan bereaksi dengan unsur kimia yang terkandung dalam material berbahan plastik tersebut. Hal ini akan menyebabkan kanker karena mengandung dioktilfat (DOP) yang bersifat toksin. Berdasarkan hasil penelitian melalui pengujian sifat fisis, kimia, dan morfologi diketahui bahwa proses migrasi terjadi karena kontak antara komponen pada material polimer dengan makanan sehingga mengakibatkan kualitas makanan lebih menurun. LDPE terjadi migrasi pada temperature 90°C. Penggunaan kemasan untuk kondisi makanan yang panas mengakibatkan ikatan kimia yang terdapat pada makanan mengalami pemutusan ikatan sehingga perlu dilakukan modifikasi penggunaan polimer. Metode peningkatan ketahanan termal dari polimer termasuk LDPE dan Polystyrene dapat digunakan metode penambahan unsur fungsional yang dapat mengurangi migrasi antar komponen baik melalui proses co-polimerisasi maupun nanocomposite.*

**Kata kunci:** dioktilfat (DOP), LDPE, polystyrene, sifat fisis, sifat kimia, morfologi

## PENDAHULUAN

Penggunaan wadah plastik, styrofoam, maupun kantong plastik merupakan hal yang identik dengan pengemasan makan. Dalam kehidupan di keluarga, sering kali wadah plastik digunakan untuk menempatkan makanan baik dalam kondisi panas maupun sudah dingin. Selain itu, untuk kalangan penjual, selain menyediakan makanan yang dapat di makan di tempat juga menyediakan fasilitas bawa pulang (*take away*). Harapannya *take away* memberikan kemudahan kepada konsumen yang akan memberikan makanannya kepada teman, keluarga, atau tidak langsung dimakan saat itu [1].

Pengemasan makanan seperti itu juga memberikan dampak negatif karena makanan panas yang dibungkus akan bereaksi dengan unsur kimia yang terkandung dalam material berbahan plastik tersebut [2]. Sebagian plastik diproduksi dari proses daur ulang. Berdasarkan penelitian Herman, hasil daur ulang itu dapat menyebabkan kanker karena mengandung dioktilfat (DOP) yang bersifat toksin. Adanya unsur yang berbahaya di dalam plastik, akan semakin mudah berkontaminasi dengan makanan jika digunakan dalam kondisi yang semakin panas [3].

Beraneka warna wadah plastik juga menjadi bahaya bagi kesehatan. Pigmen warna yang terdapat pada plastik dapat bermigrasi ke makanan. Oleh karena itu sering dijumpai adanya perubahan warna

wadah plastic untuk jangka waktu tertentu. Tidak hanya itu, plastik yang tidak berwarna juga harus diwaspadai karena semakin jernih, bening, dan bersih maka semakin banyak kandungan zat kima yang berbahaya bagi kesehatan.

Bahaya penggunaan plastik untuk pengemas makanan pada umumnya diketahui oleh konsumen akan tetapi hal itu tetap menjadi kebiasaan yang sulit dihilangkan. Berdasarkan penelitian Siregar (2011), sebesar 50% responden memiliki pengetahuan yang baik terhadap bahaya penggunaan kantong plastic, 45,7% memiliki pengetahuan sedang, dan 4,3% memiliki pengetahuan yang tidak baik [4]. Pengetahuan responden terkait bahaya penggunaan plastik meliputi, adanya bahan yang tidak dapat diperuntukkan sebagai pembungkus/wadah makanan, mengandung pewarna yang berbahaya bagi makanan apabila tekontaminasi, dan penggunaan wadah plastik menyebabkan kanker. Tingkat pengetahuan ini tidak menunjukkan adanya hubungan yang signifikan terhadap penjualan yang menggunakan wadah plastik [5].

Berdasarkan fakta di atas, diharapkan adanya tindakan untuk meminimalisir penggunaan material yang berbahan plastik. Identifikasi sifat kimia dan fisik perlu dilakukan untuk mengetahui batas aman penggunaan plastik sebagai wadah makanan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas melalui telaah pustaka.

## MATERIAL PLASTIK

Plastik merupakan bahan yang dapat dilunakkan dan memiliki kekristalan yang lebih rendah dibandingkan dengan serat. Plastik dapat dibuat sesuai dengan sifat-sifat yang diinginkan dengan cara kopolimerisasi, laminasi, maupun ekstrusi [6]. Komponen utama plastik sebelum membentuk polimer adalah monomer, yakni rantai yang paling pendek. Polimer merupakan gabungan dari beberapa monomer yang akan membentuk rantai yang sangat panjang. Bila rantai tersebut dikelompokkan bersama-sama dalam suatu pola acak, menyerupai tumpukan jerami maka disebut *amorf*, jika teratur hampir sejajar disebut kristalin dengan sifat yang lebih keras dan tegar [6].

### Penggunaan Plastik Sebagai Kemasan Makanan

Menurut Erliza dan Sutedja (1987) bahan kemasan harus mempunyai syarat-syarat yaitu tidak toksik, harus cocok dengan bahan yang dikemas, harus menjamin sanitasi dan syarat-syarat kesehatan, dapat mencegah kepalsuan, kemudahan membuka dan menutup, kemuudahan dan keamanan dalam

mengeluarkan isi, kemudahan pembuangan kemasan bekas, ukuran, bentuk dan berat harus sesuai, serta harus memenuhi syarat-syarat yaitu kemasan yang ditujukan untuk daerah tropis mempunyai syarat yang berbeda dari kemasan yang ditujukan untuk daerah subtropis atau daerah dingin. Demikian juga untuk daerah yang kelembaban tinggi dan daerah kering [7].

Penggunaan plastik sebagai kemasan makan dibedakan menjadi berbagai macam [8,9].

#### 1. Polyethylene Terephthalate (PET, PETE).

Jenis material ini akan mencair saat pemanasan pada temperatur 110°C, mempunyai sifat sifat permeabilitasnya yang rendah serta sifat-sifat mekaniknya yang baik. Adapun kegunaan material ini umumnya digunakan untuk botol plastik yang jernih atau tembus pandang dan hanya untuk sekali pakai.

#### 2. High Density Polyethylene (HDPE).

Material ini memiliki ketahanan kimiawi yang bagus sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Pada umumnya digunakan pada botol-botol yang tidak diberi pigmen bersifat tembus cahaya, kaku, dan cocok untuk mengemas produk yang memiliki umur pendek seperti susu.

#### 3. Polyvinyl Chloride (PVC).

Material LDPE merupakan Kandungan dari PVC yaitu DEHA yang terdapat pada plastikpembungkus dapat bocor dan masuk ke makanan berminyak bila dipanaskan. PVC berpotensi berbahaya untuk ginjal, hati dan berat badan. Memiliki karakter fisik yang stabil dan tahan terhadap bahan kimia, pengaruh cuaca, aliran, dan sifat elektrik. Pada umumnya digunakan untuk pipa dan konstruksi bangunan.

#### 4. Low Density Polyethylene (LDPE).

Material ini tidak dapat di hancurkan tetapi tetap baik untuk tempat makanan. Di bawah temperatur 60° C sangat resisten terhadap sebagian besar senyawa kimia. LDPE dapat digunakan sebagai tempat makanan dan botol-botol yang lembek (madu, mustard).

#### 5. Polypropylene (PP)

Lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap. Pada umumnya digunakan sebagai tempat menyimpan makanan, botol minum, tempat obat dan botol minum untuk bayi.

#### 6. Polystyrene (PS)

Bersifat sangat amorphous dan tembus cahaya, mempunyai indeks refraksi tinggi, sukar ditembus

oleh gas kecuali uap air. Pada umumnya digunakan untuk tempat makanan berbahan Styrofoam.

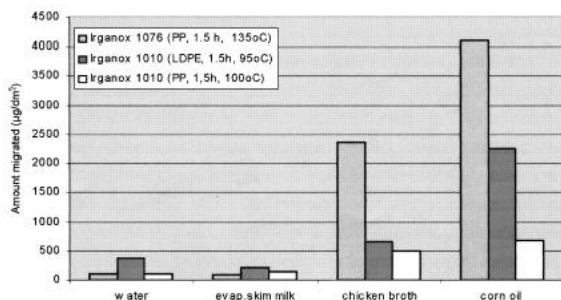
#### 7. Other (biasanya polycarbonate)

Polycarbonate bisa mengeluarkan bahan utamanya yaitu Bisphenol-A ke dalam makanan dan minuman yang berpotensi merusak sistem hormon. Pada umumnya digunakan pada tempat makanan dan minuman seperti botol minum olahraga.

### KARAKTERISASI THERMAL PADA POLIMER

Polimer merupakan material yang tidak tahan terhadap temperature tinggi sehingga berbahaya untuk digunakan sebagai kemasan makanan panas. Hal tersebut dikarenakan polimer tersusun dari monomer melalui proses polimerisasi baik melalui proses adisi maupun kondensasi yang terjadi pada temperature rendah. Saat digunakan sebagai pembungkus makanan, akan terjadi migrasi monomer karena pengaruh suhu penyimpanan makanan. Semakin tinggi temperature tersebut menyebabkan semakin banyak monomer yang dapat berpindah ke makanan [8].

Material polimer jenis polietilen (LDPE) memiliki kemampuan untuk tidak bereaksi dengan senyawa lain ketika berada pada temperatur 60°C, akan tetapi sangat rentan saat kondisi di bawah 60°C. Sebagian besar dari polimer ini akan larut dalam pelarut karbon dan hidrokarbon klorida. Material ini tidak mampu terhadap uap anas dan apabila terdapat senyawa kimia yang memiliki sifat polar maka material LDPE akan mengalami *stress cracking* [8].



Gambar 1. Migrasi Irganox pada material kemasan [10]

Ketahanan termal pada plastik sangat rendah tidak seperti logam, sehingga memungkinkan terjadi migrasi pada material dan makanan. Gambar 1 di atas menjelaskan tentang migrasi irganox yang terjadi pada kemasan. Irganox merupakan antioksidan yang digunakan untuk mengurangi proses oksidasi pada plastik. Material LDPE terjadi migrasi pada

temperature 95°C dan jumlah antioksidan pada kemasan minyak jagung yang mengalami migrasi paling banyak [10].

Selain LDPE, ketahanan polimer jenis Polystyrene (PS) sebagai material kemasan makanan perlu dianalisa. Salah satu faktor utama yang menyebabkan kualitas makanan yang dikemas berhubungan dengan variasi temperatur selama penyimpanan. Terdapat alternatif untuk dapat memperbaiki sifat ketahanan termal dengan penambahan PCMs (Phase Change Materials) atau penggabungan fasa material yang memiliki densitas penyimpanan energi yang tinggi [11]. Chalco dkk, melakukan penelitian tentang pengembangan kapasitas penyimpanan energi pada PS dengan penggunaan PCMs. PS dilapisi dengan PCM yang terdiri dari *polycaprolactone* (PCL) dan dilakukan berdasarkan variasi waktu pelapisan sehingga membentuk multilayer PS [12].

Analisa termal dilakukan dengan pengujian DSC. Temperatur lebur struktur multilapis PS pada rentang yang sama dengan RT5 (Rubitherm) murni, indikasi kesamaan kristal PCM terbentuk pada struktur enkapsulasi [11].

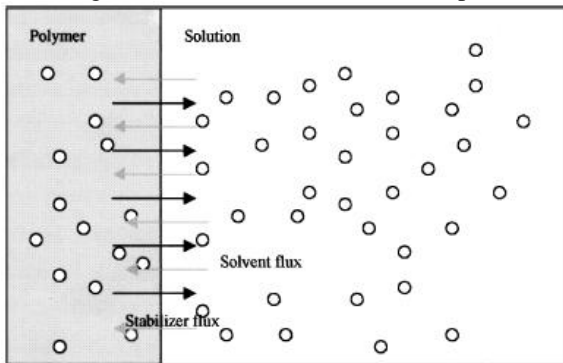
Efek pendinginan super dapat dijelaskan oleh reduksi ukuran partikel RT5, karena jumlah nukleus diperlukan untuk menginisiasi RT5 ke dalam serat. Dua temperatur kristalisasi diidentifikasi dengan sistem multilapis yang berasal dari proses kristalisasi berulang pada N-alkana pada fase transisi pemutaran yang diperoleh dari parafin ketika ukuran partikel mereka menyusut [13,14]. Sifat termal varian RT5 ketika di-enkapsulasi dan selama penyimpanan memiliki titik lebur dan nilai entalpi kristalisasi lebih rendah daripada PCM yang tidak di-enkapsulasi. PCM tidak dapat di-enkapsulasi.

Kemiringan kenaikan temperatur lebur diamati pada kebanyakan struktur multilapis PS pada penyimpanan 4 – 25°C. Reduksi titik lebur dan entalpi kristalisasi tergantung pada temperatur penyimpanan. Kapasitas penyimpanan panas pada struktur multilapis PS dilakukan pada waktu deposisi paling rendah pada PCI/PCM (15 menit), hilang setelah hanya 30 hari pada temperatur 25°C. Lapisan PCL kelihatannya melindungi PCM pada struktur multilapis PCM ketika temperatur penyimpanan 4°C. Temperatur penyimpanan ditentukan oleh faktor variasi titik lebur dan entalpi kristalisasi pada struktur multilapis PS yang disiapkan dengan waktu deposisi PCI/PCM paling lama (45 menit), menunjukkan penurunan 50% pada penyimpanan film 25°C. Entalpi kristalisasi dan titik lebur pada struktur multilapis PS yang tersimpan pada temperatur rendah ditunjukkan oleh reduksi sampai 25 – 30% setelah penyimpanan 90 hari [15].

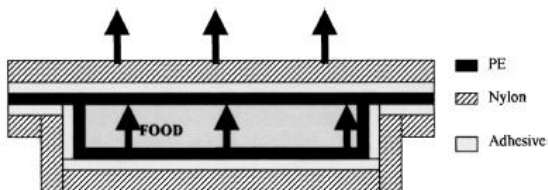
## ANALISA KIMIA PADA POLIMER

Penggunaan kemasan material polimer yang mengakibatkan kekhawatiran konsumen adalah proses migrasi komponen dari kemasan material ke makanan. Istilah migrasi merupakan proses difusi yang sangat dipengaruhi oleh interaksi antara komponen yang ada pada makanan dan komponen pada kemasan. Proses interaksi ini disebabkan karena ketahanan sifat dari material kemasan. Berikut ini skema migrasi yang terjadi pada material polimer yang merupakan material utama kemasan makanan [16].

Proses migrasi ini mengakibatkan adanya kontaminasi pada makanan terlebih saat kondisi panas. Gambar 2 dan 3 berikut ini ilustrasi dari proses migrasi ketika kemasan digunakan untuk membungkus makanan saat kondisi masih panas [17].



Gambar 2. Proses pada *interface* polimer [17].

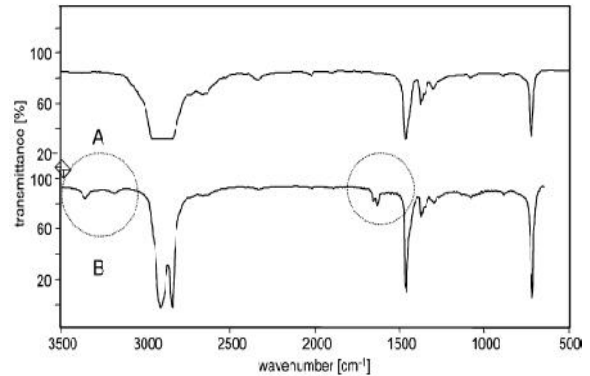


Gambar 3. Proses migrasi saat kondisi panas [18]

Rentang titik yang perlu dianalisa menggunakan analisa FTIR pada LDPE adalah 3000–2800, 1550–1400 and 750–650  $\text{cm}^{-1}$ . Pengujian yang dilakukan oleh peneliti menggunakan metode preparasi spesimen yang berbeda yaitu : transmittance – film (untuk mengidentifikasi manfaat penggunaan polymer) dan metode ATR untuk menganalisa permukaan permukaan yang *soft* [19].

Analisa FTIR memiliki perbedaan metode preparasi sampel yang tampak memberikan perbedaan pada hasilnya. ATR merupakan metode yang lebih sensitive dan cocok untuk analisa permukaan karena dapat mencegah adanya kontaminasi pada sampel yang akan diuji. Hal

tersebut dapat dilihat pada gambar 4 yang menunjukkan bahwa tampak ada transmisi (puncak kurva) meskipun hanya kecil yang terlihat. Pada posisi band yang sama tidak dapat diketahui saat menggunakan transmission film [19].



Gambar 4. Hasil pengujian FTIR dengan menggunakan (a). transmisi film (transmission film) dan (b). ATR [19]

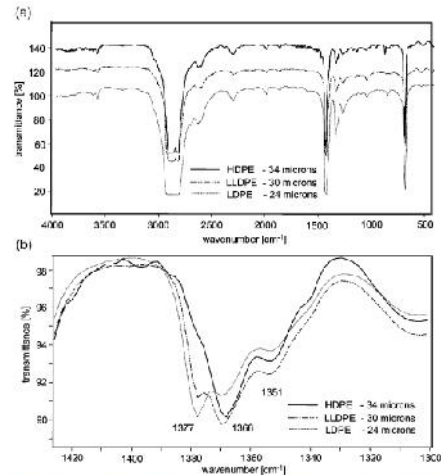
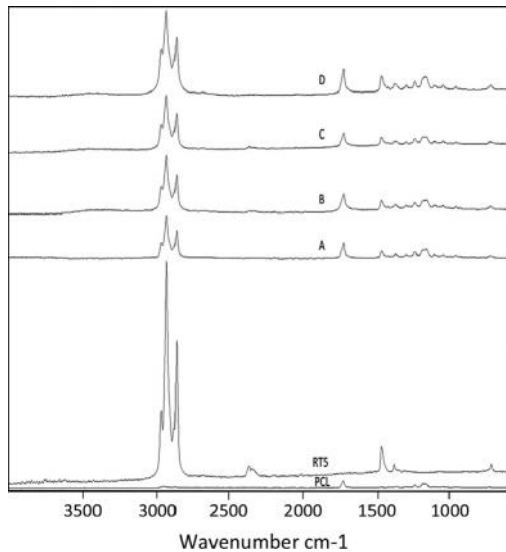


Fig. 5. Polyethylene spectra (film form). (a) Full range; (b) magnification of the 1300–1400  $\text{cm}^{-1}$  range.

Gambar 5. Grafik FTIR untuk Polyethylene (a) Range total (b) Perbesaran pada range 1300 – 1400  $\text{cm}^{-1}$  [19]

Gambar 5 menunjukkan tiga jenis polyethylene pada absorpsi yang sama, akan tetapi tampak intensitas puncak berbeda berdasarkan jenis polyethylene. Pada daerah band 1300 – 1400  $\text{cm}^{-1}$  terdapat dua puncak yang menunjukkan keberadaan gugus  $\text{CH}_2$  dan  $\text{CH}_3$  pada tiga band yaitu band I : 1377  $\text{cm}^{-1}$ , band II 1366  $\text{cm}^{-1}$  dan band III pada 1351  $\text{cm}^{-1}$ . Letak band tersebut menunjukkan posisi gugus  $\text{CH}_2$  dan  $\text{CH}_3$  yang berbeda di antara ketiga jenis polyethylene. Polymer jenis LDPE memiliki intensitas band I yang lebih lemah dari pada band II [19].



Gambar 6. Spektrum FTIR pada polimer PCL murni, RT5 murni, dan struktur multilapis PS tidak tersimpan: (A) 15 menit deposisi elektrosipin serat PCL/PCM; (B) 15 menit deposisi elektrosipin serat PCL/RCM dan 15 menit elektrosipin serat PCL; (C) 45 menit deposisi elektrosipin serat PCL/RCM; (D) 45 menit deposisi elektrosipin serat PCL/RCM dan 15 menit elektrosipin serat PCL [19]

Material kemasan jenis PS dilakukan analisa ATR-FTIR untuk mengetahui keberadaan RT5 pada multilapis PCL. Temperatur 20°C, RT5 murni dikarakterisasi FTIR diperoleh ikatan -CH<sub>2</sub> dan -CH<sub>3</sub> pada 2956, 2922, dan 2854 cm<sup>-1</sup>, semuanya tumpang tindih dengan ikatan spektrum PCL. Intensitas relatif pada ikatan RT5 berurutan pada polimer dihitung pada struktur yang tidak tersimpan dan tersimpan pada 2921.87 cm<sup>-1</sup> dan 1724.19 cm<sup>-1</sup> untuk RT5 dan PCL secara berurutan [15].

Intensitas relatif untuk sistem multilapis RT5 tidak tersimpan lebih besar daripada yang tersimpan, cocok dengan semakin tinggi kapasitas penyimpanan panas pada sistem multilapis ini, sebagaimana itu akan dijelaskan di bawah ini. Intensitas relatif pada ikatan RT5 menurun setelah 3 bulan penyimpanan, dibuktikan pada temperatur 25°C. Itu pantas untuk dicatat bahwa intensitas relatif pada karakteristik ikatan dari PCM lebih besar pada sistem multilapis PS pada penyimpanan 4°C. Pada struktur lubang yang diamati pada irisan serat PCL, dimana dibiarkan difusi PCM, cairan pada 25°C [20].

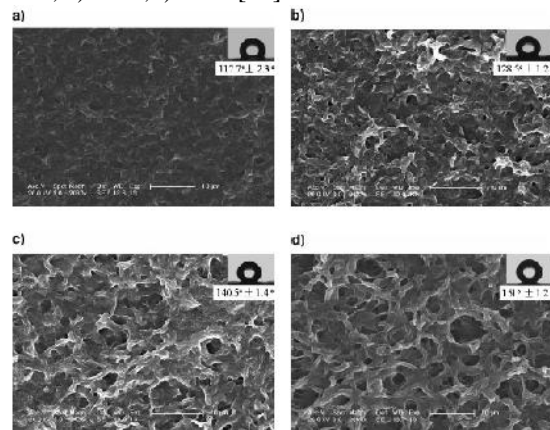
#### ANALISA MORFOLOGI PERMUKAAN PLASTIK

Wettability pada permukaan dipengaruhi oleh komposisi kimia dan geometri dari struktur mikro. Sifat ini dinyatakan dalam sudut kontak antara

permukaan dengan liquid yang dilakukan pengujian (contact angle). Apabila contact angle kurang dari 90° maka bersifat hidrofilik sedangkan contact angle lebih dari 90° bersifat hidrofobik. Hidrofilik menyatakan bahwa material dapat larut oleh air sedangkan hidrofobik tidak dapat larut dengan air. Sifat yang paling sering dimanfaatkan adalah super hidrofobik (>150°) [21].

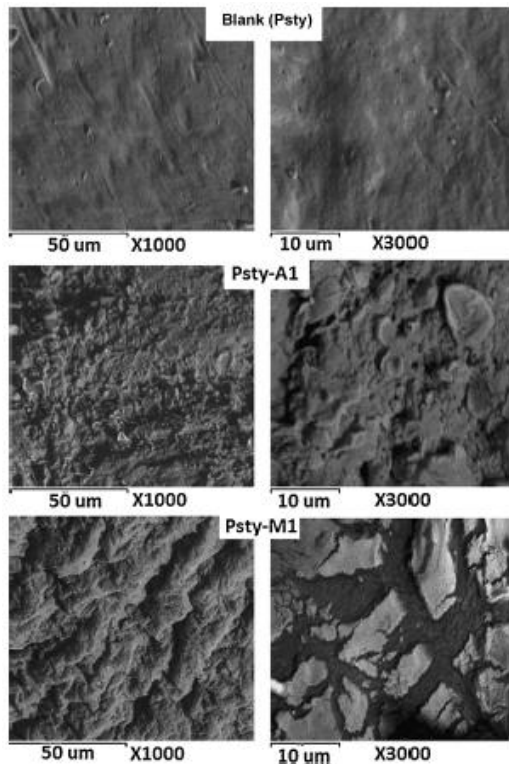
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Xiaoying Lu, LDPE dilakukan analisa untuk mengetahui sifat permukaan. Material plastik yang termasuk LDPE ini memiliki sifat hidrofobik dengan *contact angle* lebih dari 90°C yang dilakukan pada temperatur yang berbeda. Semakin rendah temperature evaporasi, maka semakin lambat pula evaporasi pelarut sehingga menaikkan pengintian dan pembentukan pore (lubang) [22].

Gambar 7 di bawah ini menunjukkan bentuk morfologi dari LDPE yang dilakukan evaporasi dari temperature tinggi ke temperatur rendah. a) 90 C, b) 70 C, c) 50 C, d) 30 C [23].



Gambar 7. SEM dari LDPE yang dilakukan evaporasi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. a) 90 C, b) 70 C, c) 50 C, d) 30 C [23].

Analisa morfologi pada polystyrene (Psty) menggunakan SEM juga dijelaskan pada gambar 8 untuk mengetahui perubahan permukaan material sebelum digunakan maupun setelah digunakan. Haroun melakukan penelitian untuk membuat dan menganalisa nanocompsite polystyrene limbah kemasan. Psty tersusun dari monomer acrylic (AAc) dan maleic acids (MAc) [24]. Pengembangan teknologi untuk modifikasi Psty dilakukan dengan menambahkan zat tambahan supaya plastik tahan terhadap serangan mikroba [25]. Psty yang sudah dipakai dilarutkan dengan toluene dan dilakukan co-polymerisasi dengan AAc atau MAc. Produk dari proses co-polymerisasi yang sudah dikeringkan dari oven merupakan produk nanocomposites.



Gambar 8. SEM untuk limbah Polystyrene (Psty) dan nanocomposite (Psty-A dan Psty-B)

Berdasarkan hasil pengamatan SEM di atas ditunjukkan bahwa perubahan permukaan terjadi setelah proses fungsionalisasi Psty (penambahan zat aditif ke dalam polimer). Pada limbah Psty tampak bahwa permukaannya halus dan memiliki struktur yang homogen sedangkan nanocomposite (Psty-A dan Psty-B) memiliki struktur yang heterogen [24]. Ketika Psty dimodifikasi dengan cara co-polimerisasi, maka dapat meningkatkan sifat hidrofilik dan biodegradasi pada limbah plastik. Berdasarkan analisa antimikroba dan antioksidan, limbah Psty memiliki peranan yang penting untuk beberapa aplikasi biomedical.

## KESIMPULAN

Penggunaan material polimer sebagai wadah makanan memberikan pengaruh terhadap perubahan yang terjadi setelah penggunaan. Proses migrasi terjadi karena kontak anatara komponen pada material polimer dengan makanan sehingga mengakibatkan kualitas makanan lebih menurun. Tidak hanya itu, penggunaan kemasan untuk kondisi makanan yang panas mengakibatkan ikatan kimia yang terdapat pada makanan mengalami pemutusan ikatan sehingga perlu dilakukan modifikasi penggunaan polimer. Teknologi tersebut bertujuan

untuk meningkatkan ketahanan termal dari polimer termasuk LDPE dan Polystyrene. Metode yang digunakan bisa menggunakan penambahan unsur fungsional yang dapat mengurangi migrasi antar komponen baik melalui proses co-polimerisasi maupun *nanocomposite*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ayodya, W, 2007. *Kursus Singkat Usaha Rumah Makan Laris Manis*. Alex Media Komputindo, Jakarta.
- [2] Damanik, Ervina, 2012. "Perilaku Konsumen Dalam Penggunaan Plastik Kresek Hitam Daur Ulang Sebagai Wadah Makanan Siap Santap Di Pusat Pasar Tavip Binjai". *Jurnal Precure* [Tahun 1 Volume 1 | April 2013
- [3] Herman, D. Z. 2006. "Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) Dari Sisa Pengolahan Bijih Logam". *Jurnal Geologi Indonesia* Vol. 1.
- [4] Siregar, N. Y. 2011. *Gambaran Perilaku Ibu Rumah Tangga Pengguna Wadah Plastik Penyimpanan Makanan dan Minuman di Kelurahan Sidorame Timur Kecamatan Medan Perjuangan* Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara.
- [5] Simanjuntak DL. 2010. *Perilaku Penjual Makanan yang Menggunakan Plastik dan Styrofoam di Lingkungan Kampus Universitas Sumatera Utara Tahun 2010*. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara
- [6] Syarief.R., S. Santausa dan Isyana. 1989. *Teknologi Pengemasan Pangan, PAU Pangan dan Gizi*, IPB Bogor.
- [7] Erliza dan Sutedja. 1987. *Pengantar Pengemasan. Laboratorium Pengemasan*, Jurusan TIP. IPB. Bogor.
- [8] Sulchan, Mohammad dan Nur W, Endang. 2007. *Keamanan Pangan Kemasan Plastik dan Styrofoam*. UNDIP. Semarang
- [9] Nurminah, Mimi. 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Bahan yang Dikemas*. USU. Sumatera Utara
- [10] Begley, T.H 2000. "Migration from food packaging: Regulatory considerations for estimating exposure". In *Plastic Packaging Materials for Food*. pp. 359–391. Piringer, O.G. and Baner, A.L., Eds. Wiley-VCH, Germany.
- [11] Melone, L., Altomare, L., Cigada, A., De Nardo, L., 2012. "Phase change material cellulosic composites for the cold storage of perishable

- products: from material preparation to computational evaluation". *Appl. Energy* 89 (1), 339–346.
- [12] Chalco-Sandoval, W., Fabra, M.J., Lopez-Rubio, A., Lagaron, J.M., 2014. "Electrospun heat management polymeric materials of interest in food refrigeration and packaging". *J. Appl. Polym. Sci.* 131.
- [13] Delgado, M., Lazaro, A., Mazo, J., Zalba, B., 2012. "Review on phase change material emulsions and microencapsulated phase change material slurries: materials, heat transfer studies and applications. Renew". *Sustain. Energy Rev.* 16 (1), 253–273.
- [14] Zhang, S., Wu, J.-Y., Tse, C.-T., Niu, J., 2012. "Effective dispersion of multi-wall carbon nanotubes in hexadecane through physiochemical modification and decrease of supercooling". *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 96, 124–130.
- [15] Chalco, 2015. "Development of polystyrene-based films with temperature buffering capacity for smart food packaging". *Journal of Food Engineering* 164 (2015) 55–62.
- [16] Lau, Oi-Wah, and Wong, Siu-kay. 2000. "Contamination in food from packaging material". *Journal of Chromatography A*, 882:225–270.
- [17] Ferrara, G., Bertoldo, M., Scoponi, M., and Ciardelli, F. 2001. "Diffusion coefficient and activation energy of Irganox 1010 in poly(propyleneco- ethylene) copolymers". *Polymer Degradation and Stability*, 73:411– 416.
- [18] Lawson, G., Barkby, C.T., and Lawson, C. 1996. "Contaminant migration from food packaging laminates used for heat and eat meals". *Fresenius J. Anal. Chem.*, 354:483–489.
- [19] Gulmine, J.V., Janissek, P.R., Heise, H.M., Akcelrud, L. 2002. "Polyethylene Characterization by FTIR". *Polymer Testing* 21, 557 – 563.
- [20] Chalco-Sandoval, W., Fabra, M.J., Lopez-Rubio, A., Lagaron, J.M., 2014. "Electrospun heat management polymeric materials of interest in food refrigeration and packaging". *J. Appl. Polym. Sci.* 131 (16), 40661.
- [21] Chen Wei, Fadeev, Hsieh, M.C., Oner., Youngblood, J., Mc. Charthy. 1999. "Ultrahydrophobic and Ultralyophobic Surfaces: Some Comments and Examples". *Langmuir*, 15 (10), 3395–3399.
- [22] Yildirim E., Demirel, L., Avci, Y., Mert, O. 2003. "Transformation of a Simple Plastic into a Superhydrophobic Surface". *Science*. Vol 299. 1377 – 1380.
- [23] Lu, X., Zhang, C., Han, Y. 2004. "Low-Density Polyethylene Superhydrophobic Surface by Control of Its Crystallization Behavior". *Macromolecular Rapid Communications*. 25, 1606–1610
- [24] Haroun, AA., Ahmed, EF., El-Halawany, N.R., Taie, H.A.A. 2013. "Antimicrobial and antioxidant properties of novel synthesized Nano composites based on polystyrene packaging material waste". *IRBM* 34 206–213.
- [25] Awenat KM, Davis PJ, Moloney MG, Ebenezer W. 2005. "Chemical method for the convenient surface functionalization of polymers". *Chem Communication*. 28-990.