

Kajian Terhadap Migrasi Plastik Hasil Induksi Panas pada Beberapa pH dan Jenis Asam Organik

*Study of Plastic Migration as a Result of Heat Induction from Several pHs and Types of
Organic Acid*

Gabriella Mutiara Haseama, I M. Mahaputra Wijaya*, Ni Putu Suwariani

PS Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit
Jimbaran, Badung, Kode pos : 80361; Telp/Fax : (0361) 701801.

Diterima 27 Mei 2020/ Disetujui 10 Juli 2020

ABSTRACT

In Indonesian street food vendor, most of hot acidic food and drinks are served with plastic packaging and plastic cutlery. This research is aimed to study about the presence of plastic's component migration as a result of heat induction in the presence of various pHs and organic acid, and to identify the types of migrated plastic components through its functional groups. In this research, the samples were 10 plastic packaging and cutlery made from LDPE, HDPE, PP, PE, and PS plastic. Acetic acid, citric acid, and lactic acid and three levels of pH which were pH 4, 5, and 6. Temperatures of 80 and 100 °C were used as representation of food and drinks served warm. Each samples were conditioned in each organic acids solutions with different pH (pH 4, 5, and 6) and thermal treatments were carried out for 1 hour in each temperature. The plastic migrations were detected using UV-Visible spectroscopy, followed by FTIR spectroscopy to identify functional groups of the migrated plastic components, followed by prediction of the migrated compound. The results suggested that plastic component migration were detected in all samples, and using lactic acid pH 4, 5, and 6 an antistatic diethanolamides was ruled plausible released from white plastic glass sample.

Keywords : plastic migration, organic acids, pH, spectroscopy, temperature.

ABSTRAK

Makanan dan minuman yang dijual oleh pedagang kaki lima di Indonesia yang bersuhu panas dan memiliki pH asam, sebagian besar disajikan menggunakan kemasan plastik dan peralatan berbahan plastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji migrasi yang terjadi dari hasil induksi panas pada beberapa derajat keasaman (pH) menggunakan beberapa jenis asam organik, serta untuk mengidentifikasi jenis komponen yang bermigrasi berdasarkan gugus fungsinya. Sampel plastik yang digunakan dalam penelitian ini berupa kemasan, dan peralatan makan dan minum. Sampel yang diteliti berjumlah 10, yang terdiri dari plastik LDPE, HDPE, PP, PE dan PS. Jenis asam organik yang digunakan adalah asam asetat, asam sitrat, dan asam laktat dalam tiga tingkatan pH asam yakni pH 4, 5, dan 6. Suhu 80 dan 100 °C digunakan sebagai representasi suhu makanan dan minuman yang disajikan dalam keadaan panas. Setiap sampel dikondisikan dalam masing-masing larutan asam organik dengan pH yang berbeda (pH 4, 5, dan 6) kemudian pemanasan dilakukan selama 1 jam pada masing-masing suhu. Uji migrasi dilakukan menggunakan spektroskopi UV-Visible untuk mengetahui ada tidaknya komponen penyusun plastik yang bermigrasi, kemudian spektroskopi FTIR digunakan untuk mengidentifikasi

*Korespondensi Penulis:

Email : mahaputrawijaya@unud.ac.id

gugus fungsi dari komponen penyusun plastik yang bermigrasi. Hasil penelitian menunjukkan adanya migrasi pada seluruh sampel, dan kemungkinan merupakan antistatik *diethanolamides* yang bermigrasi dari sampel gelas plastik putih dalam larutan asam laktat pH 4, 5, dan 6.

Kata Kunci : migrasi plastik, asam organik, pH, spektroskopi, suhu.

PENDAHULUAN

Plastik merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Plastik dibuat dengan cara polimerisasi kondensasi dari monomer-monomer dengan unsur utama penyusunnya adalah karbon dan hidrogen (Surono, 2013). Plastik tidak hanya tersusun atas monomer, namun juga ditambahkan zat aditif yang berfungsi sebagai pewarna, pemlastis, antioksidan, dan sebagainya (Bosnir *et al.*, 2007). Plastik digunakan dalam berbagai bidang salah satunya dalam bidang pangan yakni sebagai pengemas dan peralatan untuk makan seperti sendok, garpu, dan sedotan. Plastik digunakan karena memiliki karakteristik kuat, ringan, praktis, murah, tidak berkarat, mudah dibentuk, dan dapat diberi label (Koswara, 2006).

Plastik memiliki banyak keunggulan namun juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain sebagian jenis plastik tidak tahan panas, butuh waktu hingga puluhan dan ratusan tahun untuk bisa terurai di alam, serta terjadinya migrasi dari plastik ke dalam pangan (Traistaru, 2013). Migrasi plastik merupakan perpindahan komponen penyusun plastik ke dalam pangan yang bersentuhan dengan plastik akibat adanya sinar UV, suhu panas, lama penyimpanan, serta jenis makanan yang dikemas (Icoz dan Eker, 2016). Beberapa komponen penyusun plastik yang bermigrasi merupakan senyawa yang berbahaya bagi manusia jika bermigrasi dalam jumlah yang banyak (Koswara, 2006).

Beberapa jenis makanan dan minuman yang dijual oleh pedagang ada yang memiliki pH asam. Makanan dan minuman di Indonesia yang memiliki pH asam umumnya pHnya berkisar 4–6 (Syarief *et al.*, 1989).

Beberapa jenis makanan dan minuman dengan pH asam berkisar 4–6 disajikan dalam keadaan panas seperti jeruk panas, pempek, sayur asem, makanan berkuah lainnya, serta makanan yang digoreng atau dibakar yang dikonsumsi misalnya bersama dengan mayones. Makanan dan minuman tersebut memiliki pH asam karena mengandung asam organik. Sebagai contoh, jeruk panas mengandung asam sitrat dari perasan jeruknya, dan saus pempek mengandung asam asetat. Makanan dan minuman tersebut biasanya disajikan pada suhu berkisar 80 dan 100 °C karena diproses dengan cara direbus, digoreng, atau dicampur dengan air panas. Makanan dan minuman tersebut umumnya dibungkus menggunakan berbagai jenis plastik, dan ada yang menggunakan peralatan dari plastik untuk mengonsumsi makanan dan minuman tersebut seperti sendok plastik, garpu plastik, dan sedotan plastik. Sebagai contoh, gelas plastik polietilen digunakan untuk jeruk panas, *styrofoam* dan kemasan mika yang merupakan plastik jenis polistiren digunakan untuk mengemas pempek. Makanan dan minuman di Indonesia yang memiliki pH rendah dan mengandung asam yang mana banyak dikemas, disajikan, dan dikonsumsi menggunakan peralatan dari plastik tentunya dapat menyebabkan berbagai penyakit. Terlebih karena makanan dan minuman tersebut juga disajikan dalam keadaan panas yang dapat meningkatkan terjadinya migrasi zat aditif maupun monomer dari plastik yang digunakan. Migrasi komponen penyusun plastik seperti zat aditif dan monomer dapat menyebabkan berbagai penyakit saluran pencernaan, kelainan pada hormon reproduksi dan sistem kekebalan tubuh (Reingruber *et al.*, 2010).

Banyaknya makanan dan minuman

dengan pH asam yang disajikan dan dikemas menggunakan plastik dalam keadaan panas tanpa mengetahui spesifikasi plastik yang digunakan, maka penelitian ini dilakukan untuk mengkaji migrasi plastik hasil induksi panas pada beberapa pH dan jenis asam organik serta untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari komponen yang bermigrasi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain gunting, timbangan analitik, gelas ukur, gelas beaker, pH-meter, tabung reaksi, oven, *centrifuge*, pipet mikro, tube plastik, spektroskopi UV-Visible, dan spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*), Bahan yang digunakan antara lain 10 plastik berupa kemasan, kantong

pembungkus, gelas, tutup gelas, sendok dan sedotan yang sering digunakan oleh pedagang makanan dan minuman, serta larutan asam asetat, asam sitrat dan asam laktat dengan pH 4, 5, dan 6.

Pelaksanaan Penelitian

Pengumpulan sampel plastik

Sampel plastik yang digunakan merupakan plastik yang sering digunakan oleh pedagang makanan dan minuman, baik berupa kemasan maupun peralatan untuk makan dan minum. Sampel diperoleh dari toko plastik, dan pedagang kaki lima di Denpasar yang menggunakan plastik sebagai pembungkus makanan/minuman yang dijual. Jumlah sampel yang diambil adalah sebanyak 10 plastik yang terdiri dari berbagai jenis dan bentuk. Daftar sampel dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Daftar sampel penelitian.

No.	Sampel	Jenis Plastik	Kode Sampel
1.	Sendok Plastik	HDPE (<i>High Demand Polyethylene</i>)	A
2.	Sedotan Plastik	LDPE (<i>Low Demand Polyethylene</i>)	B
3.	Gelas Plastik Putih	LDPE (<i>Low Demand Polyethylene</i>)	C
4.	Kemasan Kotak Plastik Mika	PS (<i>Polystyrene</i>)	D
5.	Tutup Gelas Plastik	HDPE (<i>High Demand Polyethylene</i>)	E
6.	<i>Styrofoam</i>	PS (<i>Polystyrene</i>)	F
7.	Gelas Plastik Bening	PE (<i>Polyethylene</i>)	G
8.	Kantong Plastik Bening	PP (<i>Polypropylene</i>)	H
9.	Plastik <i>Zipper</i>	HDPE (<i>High Demand Polyethylene</i>)	I
10.	Plastik Jajanan	OPP (<i>Oriented Polypropylene</i>)	J

Pengecilan ukuran sampel kemasan plastik

Sebanyak 10 sampel plastik kemudian dipotong kecil-kecil dengan ukuran 0,5 cm x 0,5 cm untuk kemudian ditimbang masing-masing sebanyak 18 g.

Perendaman dan pemanasan sampel dalam media larutan asam

Sampel dimasukkan ke dalam masing-masing larutan asam asetat, asam

sitrat, dan asam laktat dengan pH 4, 5, dan 6. Masing-masing sampel diberi kode. Seluruh sampel beserta kontrol (larutan asam yang tidak diberi potongan plastik dan perlakuan panas) dipanaskan dalam oven dengan suhu 80 dan 100 °C selama 1 jam.

Pemisahan media asam dengan plastik

Setiap sampel kemudian dipisahkan antara larutan asam dengan potongan plastik menggunakan pipet mikro. Potongan plastik

dibiarkan di dalam tabung reaksi sedangkan larutan asam yang tercemar dimasukkan ke dalam *tube* plastik. Setelah itu, larutan asam yang tercemar disentrifugasi dengan kecepatan 15.000 rpm selama 30 menit pada suhu ruang untuk memisahkan partikel lain yang kemungkinan terdapat pada larutan. Supernatan diambil menggunakan pipet mikro dan dimasukkan ke dalam *tube* plastik (Girsang, 2020).

Uji Migrasi Komponen Penyusun Plastik

Supernatan dari seluruh sampel beserta dengan kontrol dipindai menggunakan spektroskopi UV-Visible sedangkan potongan plastik yang telah dipisahkan dari supernatannya beserta plastik kontrol dipindai menggunakan spektroskopi FTIR. Hasil dari spektroskopi UV-Visible yang berupa nilai absorbansi supernatan dan kontrol dimasukkan datanya ke dalam Ms. Excel untuk dicari selisih absorbansinya (*difference absorbance*). Hasil selisihnya dimasukkan ke dalam aplikasi *Igor Pro 8* untuk diubah ke bentuk spektra, sehingga dapat dilihat adanya migrasi komponen penyusun plastik.

Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah pemanasan pada suhu 80 dan 100 °C, hasil uji migrasi dengan spektroskopi UV-Visible dan FTIR dari jenis asam organik dan tiga tingkatan pH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanasan (80 °C dan 100 °C)

Hasil pemanasan larutan asam dari 90 sampel pada suhu 80 °C, dan 90 sampel pada suhu 100 °C secara visual tidak menunjukkan adanya perubahan fisik. Seluruh sampel kemudian dipisahkan antara potongan plastik dengan larutan asamnya dengan menggunakan pipet mikro lalu disentrifugasi. Adapun hasil sentrifugasi tidak memperlihatkan adanya material lain seperti

partikel yang mengendap. Larutan asam yang tercemar plastik selanjutnya dipindai menggunakan spektroskopi UV-Visible.

Uji Migrasi dengan Spektroskopi UV-Visible

Berdasarkan hasil pindai spektroskopi UV-Visible dari sampel dengan suhu pemanasan 80 °C dan 100 °C diperoleh hasil seluruh sampel mengalami migrasi. Namun, terdapat perbedaan antara pola spektra asam asetat dan asam laktat pH 4 dengan asam asetat pH 5 dan 6, asam laktat pH 5 dan 6 serta asam sitrat pH 4, 5 dan 6. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena perbedaan pKa dari ketiga jenis asam. Asam yang berada pada lingkungan dengan pH di atas pKanya akan melepas ion H⁺, sedangkan asam yang berada pada lingkungan dengan pH di bawah pKanya cenderung tidak melepas ion H⁺ dan menjadi tidak bermuatan (Priyadi *et al.*, 2014). Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena perbedaan pKa dari ketiga jenis asam. Asam asetat memiliki pKa 4,8, asam laktat memiliki pKa 3,9 dan asam sitrat memiliki tiga pKa yakni pKa₁ 3,2, pKa₂ 4,8 dan pKa₃ 6,4 (Priyadi *et al.*, 2014). Asam yang berada pada lingkungan dengan pH di atas pKanya akan melepas ion H⁺, sedangkan asam yang berada pada lingkungan dengan pH di bawah pKanya cenderung tidak melepas ion H⁺, dan menjadi tidak bermuatan (Priyadi *et al.*, 2014). Hal ini berarti bahwa jika asam tersebut dikondisikan dengan pH yang lebih tinggi dari pKanya maka kemungkinan asam tersebut melepas ion H⁺ yang kemudian bereaksi dengan komponen penyusun plastik sehingga mengubah gugus fungsi komponen penyusun plastik, dan jika dikondisikan dengan pH yang lebih rendah dari pKanya maka kemungkinan terdapat pelepasan gugus fungsi komponen penyusun plastik ke dalam asam tersebut.

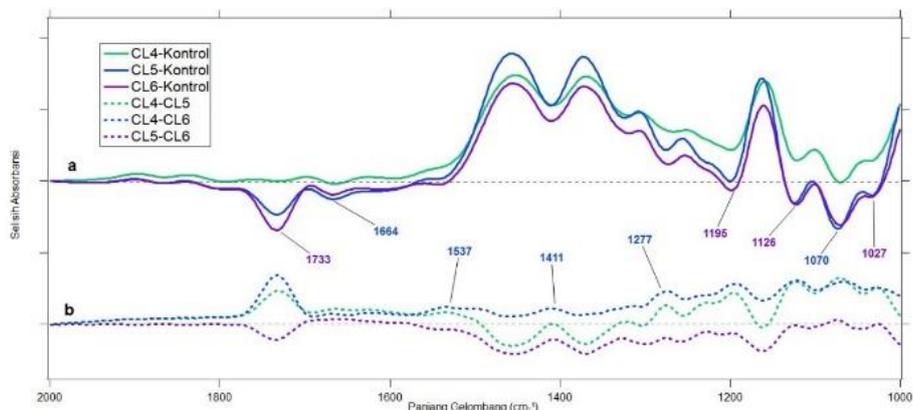
Spektra cemaran dari berbagai sampel yang diperoleh dibedakan menjadi beberapa pola berdasarkan bentuk spektra yang mirip.

Hal ini bertujuan untuk memudahkan melihat perbedaan bentuk antar spektra. Berdasarkan pengelompokan pola spektra, dilihat bahwa bentuk spektra sampel pada suhu 80 dan 100 °C mirip sehingga dapat dikatakan bahwa pada suhu 80 dan 100 °C, jenis komponen penyusun plastik yang bermigrasi adalah sama. Sampel yang dipilih untuk diuji lebih lanjut dengan menggunakan spektroskopi FTIR adalah sampel yang memiliki intensitas cemaran paling tinggi pada pola yang paling sederhana. Spektra yang memiliki cemaran paling banyak adalah spektra yang memiliki *peak* dengan intensitas paling tinggi. Sedangkan pola yang paling sederhana dipilih untuk memudahkan analisis identifikasi gugus fungsi dan bahan kimianya. Berdasarkan hal tersebut, maka diperoleh hasil bahwa pola 1 dan pola 2 merupakan pola yang paling sederhana di

antara pola lainnya.

Identifikasi Komponen Penyusun Plastik dengan Spektroskopi FTIR

Potongan plastik sampel CL4 (gelas plastik putih dalam larutan asam laktat pH 4) dipindai menggunakan spektroskopi FTIR. Hasil pindai data digital dari potongan plastik sampel CL4 diselisihkan (dikurangi) dengan hasil pindai potongan plastik gelas plastik putih yang tidak diberi perlakuan (kontrol) menggunakan Ms. Excel. Potongan plastik sampel CL5 (gelas plastik putih dalam larutan asam laktat pH 5) dan CL6 (gelas plastik putih dalam larutan asam laktat pH 6) juga dipindai untuk mencari selisihnya dengan sampel CL4. Hasil selisih dari Ms. Excel diubah menjadi bentuk grafik spektra menggunakan aplikasi *Igor Pro 8*.



Gambar 1. Spektra selisih absorbansi sampel berdasarkan hasil pindai FTIR.

Gambar 1a merupakan spektra selisih absorbansi sampel CL4 *minus* kontrol, CL5 *minus* kontrol, dan CL6 *minus* kontrol. Berdasarkan spektra gambar 1a, dapat dilihat bahwa terdapat kemiripan bentuk antara spektra selisih sampel perlakuan pH 4 (CL4) *minus* kontrol, pH 5 (CL5) *minus* kontrol, dan pH 6 (CL6) *minus* kontrol. Hal ini berarti bahwa pada asam laktat pH 4, 5, dan 6, komponen penyusun plastik yang bermigrasi dari sampel gelas plastik putih gugus fungsinya sama, sehingga kemungkinan jenisnya sama. Gambar 1b merupakan

spektra hasil selisih sampel pH 4 *minus* pH 5, pH 4 *minus* pH 6, dan pH 5 *minus* pH 6. Ketiga spektra memiliki bentuk yang mirip yang berarti jenis komponen yang bermigrasi sama.

Peak pada masing-masing spektra pada Gambar 1a diidentifikasi untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang bermigrasi. Setiap *peak* yang terdapat pada *wavenumber* (cm^{-1}) tertentu menunjukkan gugus fungsi dari suatu golongan senyawa yang merupakan komponen penyusun sampel plastik. Adapun gugus fungsi yang diketahui

berdasarkan *peak* spektra dapat dilihat pada tabel berikut.

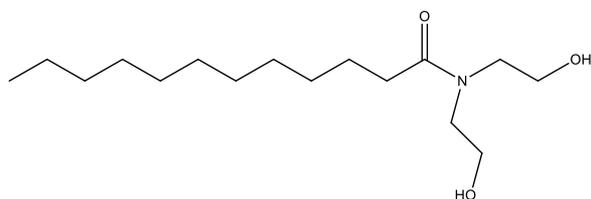
Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat 6 *peak* yang dapat diidentifikasi dari spektra pada gambar 1. Gugus fungsi hasil identifikasi spektra FTIR pada *peak* 1027 cm⁻¹

¹ adalah C-N (amina), *peak* 1070 cm⁻¹ adalah C-O (ester), *peak* 1126 cm⁻¹ adalah C-O (asam karboksilat), *peak* 1195 cm⁻¹ adalah C-O (alkohol), *peak* 1664 cm⁻¹ adalah C=C (alkena), dan pada *peak* 1733 cm⁻¹ adalah C=O (aldehid) (Coates, 2006).

Tabel 2. Identifikasi gugus fungsi dari *peak* pada spektra FTIR.

Wavenumber (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Nama Gugus Fungsi
1027	C-N	Amina
1070	C-O	Ester
1126	C-O	Asam Karboksilat
1195	C-O	Alkohol
1664	C=C	Alkena
1733	C=O	Aldehid

Senyawa yang diidentifikasi bermigrasi dari sampel gelas plastik putih ke dalam larutan asam laktat pH 4, 5, dan 6 berdasarkan *peak* pada gambar 1 merupakan zat aditif plastik yakni antistatik (Hofer, 2012). Antistatik merupakan aditif yang ditambahkan ke plastik untuk mengurangi tumpukan listrik statis yang dapat memicu adanya setruman listrik. Antistatik digunakan untuk mencegah timbulnya setruman listrik statis saat plastik tersebut diolah atau digunakan. Antistatik yang kemungkinan terdeteksi pada hasil identifikasi adalah antistatik *diethanolamides* (Hofer, 2012). Antistatik plastik yang bermigrasi ke dalam pangan diduga dapat menimbulkan reaksi alergi, iritasi dan gangguan pada saluran pencernaan (Hahladakis *et al.*, 2018).



Gambar 2. Struktur kimia *diethanolamides*.

Dilihat dari bentuk spektra FTIR pada gambar 1, terdapat *peak* negatif dan *peak* positif, baik pada gambar 1a maupun 1b. *Peak* negatif pada spektra FTIR dapat menunjukkan adanya migrasi atau pelepasan

komponen penyusun gelas plastik putih ke dalam larutan asam. *Peak* negatif pada spektra FTIR merupakan *peak* yang diidentifikasi untuk mengetahui jenis komponen penyusun gelas plastik putih yang terlepas (bermigrasi) ke dalam larutan asam laktat. *Peak* negatif menunjukkan pelepasan gugus fungsi atau ikatan kimia tertentu pada sampel plastik yang mendapat perlakuan, sedangkan *peak* positif menunjukkan adanya penambahan gugus fungsi atau ikatan kimia tertentu pada sampel jika dibandingkan dengan kontrol.

Peak positif yang sangat menonjol perbedaannya dapat dilihat pada gambar 1b, dimana terdapat *peak* negatif pada panjang gelombang 1733 cm⁻¹ pada asam laktat pH 5 dan 6, namun terdapat *peak* positif pada panjang gelombang yang sama pada asam laktat pH 4. Hal ini berarti bahwa pada asam laktat pH 5 terjadi pelepasan sesuatu dengan gugus fungsi C=O kemungkinan dari antistatik *diethanolamides* ke dalam larutan asam laktat dan pada asam laktat pH 4 dan 6 terjadi penambahan gugus fungsi C=O dari asam laktat ke struktur antistatik *diethanolamides*, dimana C=O dari senyawa tersebut bisa jadi berubah menjadi C-O-H karena terdapat H⁺ berlebih karena pH yang rendah.

Berdasarkan hasil penelitian dan

identifikasi dapat dinyatakan bahwa sampel gelas plastik putih jenis LDPE tidak cocok untuk minuman yang mengandung asam laktat dengan pH berkisar antara pH 4–6 yang disajikan dengan suhu panas (80–100 °C). Hal ini karena dari hasil pindai spektroskopi terdapat migrasi antistatik dari gelas plastik putih ke dalam larutan asam laktat pH 4, 5, dan 6. Untuk mengurangi resiko terjadinya migrasi tersebut maka penggunaan gelas plastik putih jenis LDPE untuk minuman panas yang mengandung asam laktat pH 4–6 dapat dikurangi dan diganti dengan menggunakan gelas yang terbuat dari *stainless steel* atau kaca bening atau gelas plastik putih LDPE tersebut dapat hanya digunakan dalam minuman asam dengan suhu ruang walaupun hipotesis keamanan penggunaan pada suhu ruang ini harus diuji dengan penelitian lanjutan.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Ada migrasi komponen penyusun plastik yang terjadi dari hasil induksi panas suhu 80 dan 100 °C pada seluruh sampel plastik dalam larutan asam asetat, asam laktat, dan asam sitrat pH 4, 5, dan 6.
2. Gugus fungsi dari komponen gelas plastik putih yang bermigrasi pada larutan asam laktat pH 4–6 adalah C-N (amina), C-O (ester, asam karboksilat, alkohol), C=C (alkena) dan C=O (aldehid). Komponen yang bermigrasi adalah antistatik *diethanolamides*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disarankan perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut menggunakan GC-MS atau LC-MS.

DAFTAR PUSTAKA

- Bosnir, J., D. Puntaric, A. Galic, I. Skes, T. Dijanic, M. Klaric, M. Grgic, M. Curkovic and Z. Smit. 2007. Migration of phthalates from plastic containers into soft drinks and mineral water. *Food Technology and Biotechnology* 45(1): 91–95.
- Coates, J. 2006. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *In Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*.
- Hahladakis, J. N., C. A. Velis, R. Weber, E. Iacovidou and P. Purnell. 2018. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials* 344:179–199.
- Halden, R. U. 2010. Plastics and Health Risks. *Annual Review Public Health* 31:179–194.
- Hofer, R. 2012. Processing and Performance Additives for Plastics. *In Polymer Science: A Comprehensive Reference* Vol. 10, p. 369-381.
- Icoz, A. and B. Eker. 2016. Selection of Food Packaging Material, Migration and Its Effects on Food Quality. *In 1st International Conference on Quality of Life*. Center for Quality University of Kragujevac, Kragujevac, p. 201–210.
- Koswara, S. 2006. Bahaya di Balik Kemasan Plastik. Diakses dari *ebookpangan.com* pada tanggal 5 Januari 2020.
- Priyadi, S., P. Darmadji, U. Santoso dan P. Hastuti. 2014. Distribusi Plumbum, Cadmium pada Biji Kedelai, dan Deprotonasi Gugus Fungsional Karboksil Asam Sitrat dalam Khelasi. *AGRITECH* 34(4): 407–414.
- Reingruber, E., M. Himmelsbach, C. Sauer and W. Buchberger. 2010.

Identification of degradation products of antioxidants in polyolefins by liquid chromatography combined with atmospheric pressure photoionization mass spectrometry. *Polymer Degradation and Stability* 95:740–745.

Surono, U. B. 2013. Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. *Jurnal Teknik* 3(1): 32–40.

Syarief, R., Santausa dan Isyana. 1989. *Teknologi Pengemasan Pangan, PAU Pangan dan Gizi*. IPB Press, Bogor.

Traistaru, E., A. Ravis, R. C. Moldovan, A. Menelaou and C. Georgescu. 2013. Study regarding the overall migration from plastic packaging materials used in food industry. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 19(3): 305–308.