

Sintesis Merkptoetil Karboksilat sebagai Bahan Baku Stabiliser Termal Polivinil Klorida: Variasi Sumber Asam Lemak

I Dewa Gede Arsa Putrawan ^{1,*}, Adli Azharuddin ², Dendy Adityawarman ³, Dicka Ar Rahim ⁴

¹ Kelompok Keahlian Perancangan dan Pengembangan Produk

² Program Studi Magister Teknik Kimia

³ Kelompok Keahlian Perancangan dan Pengembangan Proses

⁴ Kelompok Keahlian Energi dan Sistem Pemroses

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung 40132

*e-mail: idewa@che.itb.ac.id

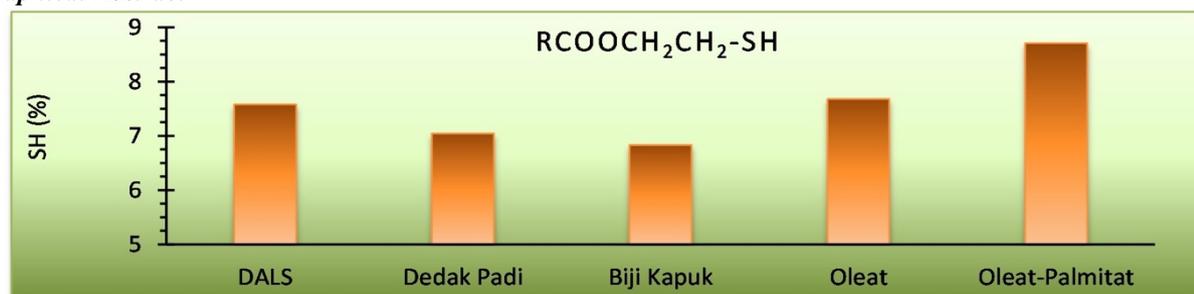
Abstrak. Merkptoetil karboksilat merupakan bahan baku stabiliser termal polivinil klorida atau polyvinyl chloride (PVC) berbasis timah organik. Stabiliser termal perlu ditambahkan ke dalam resin PVC sebelum diekstrusi untuk mencegah kerusakan karena pengerjaan panas. Stabiliser termal PVC dari timah organik dikenal sangat efektif, khususnya untuk aplikasi PVC kaku seperti pipa dan bingkai jendela. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sintesis merkptoetil karboksilat dari asam lemak dan merkpto etanol dengan variasi sumber asam lemak yang meliputi asam lemak sawit, dedak padi dan biji kapuk. Percobaan dilakukan dalam sebuah reaktor partaian (batch) dengan asam kuat sebagai katalis. Percobaan dilakukan pada temperatur 60-80°C dan ekses merkpto etanol 10%. Kinerja sintesis dievaluasi melalui pengukuran kadar merkptan dan angka asam dalam produk serta perolehan produk. Pada rentang temperatur 60–80 °C, ketiga asam lemak memberikan produk dengan kadar merkptan pada rentang 6,4–7,8%. Temperatur 70 °C merupakan temperatur terbaik karena menghasilkan produk dengan kadar merkptan tertinggi tanpa memadat selama penyimpanan. Pada temperatur ini, produk memiliki angka asam pada rentang 11–41 mg KOH/g dan perolehan pada rentang 70–81%. Ketiga sumber asam lemak memberikan produk dengan kadar merkptan yang mencukupi untuk dapat digunakan sebagai bahan baku stabiliser PVC. Mempertimbangkan kualitas produk dan ketersediaan di pasaran, distilat asam lemak sawit dipandang sebagai bahan baku yang paling baik.

Kata kunci: asam lemak, merkptoetil karboksilat, polivinil klorida, stabiliser termal.

Abstract. Synthesis of Mercaptoethyl Carboxylate as Raw Materials for Polyvinyl Chloride Thermal Stabilizer: Variation in Fatty Acid Source. Mercaptoethyl carboxylate is a raw material for organotin-based polyvinyl chloride (PVC) thermal stabilizer. Thermal stabilizers need to be added to the PVC resin before extruded to prevent degradation due to heat treatment. Organotin PVC stabilizers are known to be very effective, especially for rigid PVC applications such as pipes and frames. This study was aimed to evaluate the synthesis of mercaptoethyl carboxylate from fatty acids and mercaptoethanol with various sources of fatty acids including palm, rice bran and kapok seed fatty acids. The experiment was carried out in a batch reactor with a strong acid as a catalyst. The experiments were conducted at 60–80°C and 10% mercapto ethanol excess. The performance of synthesis was evaluated by measuring mercaptan and acid contents and yield. In the range of 60–80 °C, all three fatty acids provided products with mercaptan levels in the range of 6.4–7.8%. A temperature of 70 °C is the best temperature as it gave a product with the highest mercaptan content without solidification during storage. At this temperature, the product had acid values in the range 11–41 mg KOH/g and yields in the range of 70–81%. Considering product quality and availability in the market, palm fatty acid distillate was seen as the best raw material.

Keywords: fatty acid, mercaptoethyl carboxylate, polyvinyl chloride, thermal stabilizer.

Graphical Abstract



1. Pendahuluan

Polivinil klorida atau *polyvinyl chloride (PVC)* merupakan polimer terbesar ketiga di dunia dalam jumlah produksi setelah polietilen dan polipropilen (Carragher, 2013). Konsumsi global PVC pada tahun 2016 mencapai 42 juta ton dan diperkirakan akan meningkat sebanyak 3,2% per tahun hingga 2024 (Ceresana, 2017). Tambahan pula, Asia-Pasifik merupakan pasar terbesar, sekitar 56% dari pasar global. Sebagian besar aplikasi PVC berada di sektor konstruksi, meliputi pipa, atap, lantai, dinding, pembungkus kabel, dan sebagainya. Walaupun menguasai beragam aplikasi, PVC memiliki sebuah kelemahan, yakni mengalami degradasi karena panas (Wirth dan Andreas, 1977). Degradasi PVC oleh panas dinamakan degradasi termal. Penyebab utama degradasi termal adalah keberadaan klorida alilik dalam PVC. Klorida alilik sangat labil dan mudah lepas oleh panas menghasilkan hidrogen klorida. Degradasi termal PVC merupakan sebuah proses autokatalitik. Hidrogen klorida yang terbentuk mengatalisis dan mempercepat pelepasan hidrogen klorida berikutnya. Jika degradasi tidak dicegah, PVC berubah menjadi poliena dan menjadi gelap serta rapuh sehingga tidak dapat dibentuk. Degradasi termal menjadi masalah yang serius karena aplikasi PVC melibatkan proses pemanasan.

Stabiser termal merupakan aditif yang ditambahkan ke dalam PVC untuk mencegah degradasi termal. Stabiliser termal PVC umumnya berupa senyawa logam organik dari timah (Sn), timbal (Pb), atau logam campuran, kalsium/seng Ca/Zn dan barium/seng Ba/Zn (Wypych, 2008). Di tingkat global, stabiliser berbasis timbal menempati pasar terbesar (Wallenwein, 2006). Akan tetapi, masalah lingkungan telah menggeser penggunaan timbal. Timah organik merupakan stabiliser termal PVC yang sangat efektif, khususnya untuk PVC kaku, khususnya pipa, serta mulai mengambil pasar logam timbal. Berdasarkan unsur penyusunnya, stabiliser timah organik terbagi menjadi dua, yakni non-sulfur untuk stabilisasi radiasi dan merkaptida (mengandung sulfur) untuk stabilisasi termal. Kelompok merkaptida dibagi menjadi dua, yakni ester (untuk aplikasi transparan/lembaran/pangan) dan ester-balik atau *reverse-ester* (untuk aplikasi buram/ekstrusi/non pangan). Stabiliser ester-balik merupakan kelompok timah organik yang sangat populer dan efektif untuk pipa PVC karena menjadikan resin PVC tahan gaya geser (ekstrusi).

Stabiliser ester-balik diproduksi melalui dua tahap sintesis senyawa, yakni: sintesis merkaptto etil karboksilat dan sintesis metil timah merkaptto karboksilat sulfida. Merkaptto etil karboksilat dibuat melalui esterifikasi merkapttoetanol (ME) dan asam lemak bebas (ALB). Hasil reaksi dinamakan ester-balik karena gugus merkapttil berasal dari sisi alkohol, berbeda dengan kelompok ester yang diturunkan dari merkapttil yang melekat pada asam lemak. Sumber ALB yang populer saat ini adalah TOFA (*tall oil fatty acid*), produk samping pabrik kertas berbahan baku kayu pinus. Akan tetapi, ketersediaan TOFA dunia mulai terbatas sebagai akibat dari kerusakan lingkungan sehingga dibutuhkan sumber ALB alternatif. Dalam mencari alternatif bahan baku, hasil samping industri pertanian patut dilirik untuk

meningkatkan nilai tambah sekaligus untuk mengurangi masalah lingkungan. Tiga sumber asam lemak yang dipandang dapat dimanfaatkan untuk produksi merkaptto etil karboksilat adalah distilat asam lemak sawit, dedak padi dan biji kapok.

Distilat asam lemak sawit (DALS) atau dikenal dengan nama *Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)* merupakan produk samping proses pemurnian minyak sawit (Top, 2010). DALS merupakan campuran ALB, berwarna kuning (kadang kecoklatan), berwujud padat pada temperatur kamar. DALS diperdagangkan dengan harga lebih rendah dari *refined-bleached-deodorized (RBD)* bahkan lebih rendah dari minyak sawit mentah (CPO) karena dipandang sebagai produk samping. Sebagai contoh, pada Agustus 2015 (FOB Belawan/Dumai), CPO dihargai 515 USD/ton sedangkan DALS dihargai 353 USD/ton (Palm Oil Analytics, 2019). Produksi DALS di Indonesia diperkirakan mencapai 1,2 – 1,5 juta ton/tahun. DALS saat ini dimanfaatkan untuk aplikasi non-pangan, seperti sabun, pakan ternak dan bahan bakar industri. Dedak padi merupakan hasil samping proses penggilingan padi. Produk samping ini mengandung 8% s/d 10% minyak/lemak. Minyak dedak padi sebenarnya merupakan minyak pangan sehat karena mengandung γ -oryzanol, senyawa antioksidan yang mampu menurunkan kolesterol berbahaya (Ali dan Devarajan, 2017; Patel dan Naik, 2004). Akan tetapi, aktivitas enzim lipase menyebabkan dedak padi mudah tengik. Pengolahan dedak padi tanpa destabilisasi lipase menghasilkan minyak yang mengandung sejumlah besar ALB dan menjadi tidak ekonomis untuk dimurnikan menjadi minyak pangan. Biji kapok merupakan produk samping pengolahan buah kapok menjadi serat. Biji kapok mengandung $\pm 20\%$ minyak dengan kadar asam lemak tak jenuh yang tinggi (mencapai 60%). Minyak biji kapok mengandung 13% asam-asam siklopropan (malvalik dan sterkulik) sehingga tidak baik untuk dikonsumsi sebagai minyak pangan. Luas lahan pohon kapok di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 144 ribu ha (Badan Pusat Statistik, 2018). Dengan perolehan biji 0,9–1,4 ton/ha (Anigo dkk., 2013), produksi biji kapok Indonesia diperkirakan mencapai 130–202 ribu ton/tahun. Upaya pemanfaatan minyak biji kapok saat ini adalah sebagai bahan baku biodiesel (Erliyanti, 2016; Vedharaj dkk., 2013; Fajar dan Hendrawati, 2015).

Sintesis merkaptto etil karboksilat telah disinggung sejak lama oleh Leistner dan Hecker (1959). Reaksi melibatkan katalis asam dengan air sebagai produk samping. Dengan beberapa asam lemak murni, Sonnet dan Moore (1989) memperoleh campuran O-ester dan S-ester. Dengan asam oleat, Wang dkk. (2012) menemukan bahwa penguapan menjadi pilihan terbaik untuk mengusir air (produk samping). Putrawan dkk. (2018) mengkaji pembuatan merkaptto etil karboksilat dari DALS. Belum ada peneliti yang membandingkan hasil sintesis merkaptto etil karboksilat dari berbagai sumber ALB. Untuk meningkatkan peluang perolehan alternatif pengganti TOFA sebagai bahan baku merkaptto etil karboksilat, sintesis dengan berbagai sumber ALB perlu dikaji. Penelitian ini diarahkan untuk mengevaluasi sintesis merkaptto etil karboksilat dari ALB dengan

berbagai sumber ALB. Tiga asam lemak digunakan sebagai bahan baku, meliputi asam lemak sawit, dedak padi dan biji kapuk. Ketiga sumber asam lemak ini merupakan sumber lokal dan termasuk sumber nonpangan sehingga pemanfaatannya tidak menyaingi sektor pangan. Dari sisi komposisi, asam lemak berbasis sawit mengandung asam lemak jenuh dan tak jenuh yang berimbang. Di lain pihak, asam lemak berbasis dedak padi dan biji kapok mengandung lebih banyak asam lemak tak jenuh. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan sebuah reaktor partaian (*batch*). Kinerja sintesis dievaluasi melalui pengukuran kadar merkaptan dan angka asam produk serta perolehan produk. Kadar merkaptan dijadikan ukuran kualitas produk mengingat gugus merkaptida memiliki peran penting dalam stabilisasi termal PVC. Angka asam dapat dijadikan ukuran jumlah ALB yang tersisa. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung produksi stabiliser termal PVC ester-balik. Stabiliser termal jenis ini sangat tepat dikembangkan mengingat bahan baku utama, yakni timah dan lemak, merupakan sumber lokal yang tersedia di tanah air.

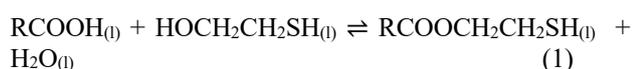
2. Percobaan

2.1. Bahan

DALS diperoleh dari pabrik pemurnian minyak sawit lokal. ALB dedak padi dan biji kapok diperoleh melalui penyabunan dan pengasaman minyak mentah. Minyak dedak padi mentah diperoleh melalui ekstraksi dedak padi menggunakan n-heksana sebagai pelarut. Minyak biji kapok mentah dibeli dari pemasok lokal. Merkpto etanol dibeli dari Merck, memiliki kemurnian >99%. pTSA dibeli dari Fluka, memiliki kemurnian >98%.

2.2. Prosedur

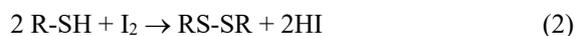
Merkpto etil karboksilat disintesis mengikuti prosedur sebelumnya (Putrawan dkk., 2018). Sebuah gelas berjaket dengan volume 60 mL digunakan sebagai reaktor. Sebanyak 40 g ALB bersama ME dengan kelebihan ME sebesar 10%-mol dimasukkan ke dalam reaktor. Temperatur reaksi diatur dengan mengendalikan temperatur air pemanas yang mengalir melalui jaket reaktor. Setelah campuran mencapai temperatur yang diinginkan, katalis dimasukkan ke dalam reaktor, bagian atas reaktor kemudian disambungkan dengan kondenser yang beroperasi pada tekanan vakum. Asam lemak (RCOOH) bereaksi dengan merkpto etanol mengikuti persamaan (1) berikut:



Pada bagian akhir, temperatur reaksi dijaga pada 80°C untuk memastikan kelebihan ME dapat disingkirkan. Produk reaksi dicuci, dikeringkan dan disaring. Produk selanjutnya ditimbang dan dianalisis.

2.3. Analisis

Kadar merkaptan diukur melalui titrasi iodin mengikuti prosedur dari literatur (Ciesielski dan Zakrzewski, 2006; Critchfield, 1963; Vogel dan Mendham, 2000). Titrasi didasari reaksi antara merkaptan dan iodin menghasilkan ditioal dan hidrogen iodida (persamaan (2)):



Angka asam diukur melalui titrasi dengan larutan KOH. Angka iodin diukur dengan metode Wijs. Spektra infrared (IR) diukur dengan spektrofotometer Shimadzu IR-Prestige-21, pada rentang panjang gelombang 4,000–400 cm^{-1} . Kadar beberapa asam lemak utama sebagai metil ester diukur menggunakan GC MS Shimadzu 2010-GCMS-QP2010 Ultra dengan sebuah kolom kapiler RtX®-5MS (panjang 30, diameter dalam 0,25 mm, dan ketebalan 0,25 μm). Temperatur diprogram pada 4°C/menit dari 50 hingga 250°C. Temperatur injektor dan detektor ditetapkan pada 280°C, dengan helium sebagai gas pembawa. Spektra massa dibandingkan dengan basis data dari Wiley Library 7 dan NIST 8 Library.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakter bahan baku

Tabel 1 menyajikan karakter ALB yang digunakan. Ketiga asam lemak berwujud padat pada kondisi ruangan. Kadar beberapa asam lemak kunci menunjukkan bahwa ALB dedak padi memiliki kadar asam lemak tak jenuh tertinggi, diikuti biji kapuk dan DALS. Kecenderungan ini juga ditunjukkan dengan jelas oleh nilai angka iodin. ALB dedak padi memberikan angka iodin tertinggi, diikuti dengan biji kapuk dan DALS. Kecenderungan ini juga sejalan dengan nilai titer, dimana DALS memiliki nilai titer tertinggi diikuti biji kapuk dan dedak padi. Titer menggambarkan titik beku asam lemak. Asam lemak jenuh memiliki titer lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh. Semakin tinggi kadar asam lemak jenuh atau semakin rendah angka iodin, nilai titer cenderung semakin tinggi. Angka asam memiliki kecenderungan yang sama dengan angka iodin. Dedak padi memiliki angka asam tertinggi diikuti dengan biji kapuk dan DALS. Kadar asam lemak yang diperoleh masih pada rentang data yang disajikan dalam literatur (Berry, 1979; Chang dkk., 2016; Shahidi, 2005).

3.2. Karakter produk

Gambar 1 menyajikan spektra IR produk. Gambar tersebut juga menyajikan spektra merkpto etil karboksilat dari pasar (terbuat dari TOFA) sebagai pembanding. Puncak-puncak penciri struktur merkpto etil karboksilat ditemukan pada panjang gelombang 1165-1167 cm^{-1} , 1738-1740 cm^{-1} , 2569-2571 cm^{-1} , dan 2851-2924 cm^{-1} yang secara berturut-turut mencirikan keberadaan gugus C-O, C=O, SH dan CH. Spektra dari ketiga produk sangat identik dengan spektra dari produk yang ada di pasaran. Hal ini menandakan bahwa

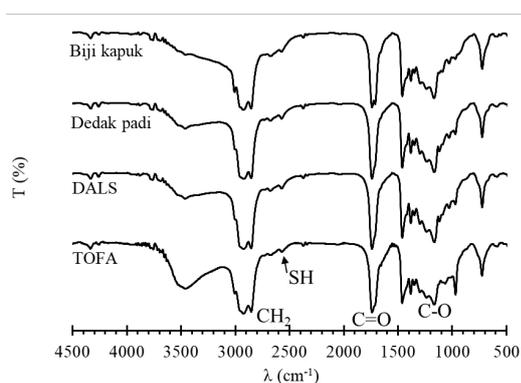
merkupto etil karboksilat berhasil disintesis dari ketiga bahan baku yang digunakan.

3.3. Kadar merkuptan dan perolehan

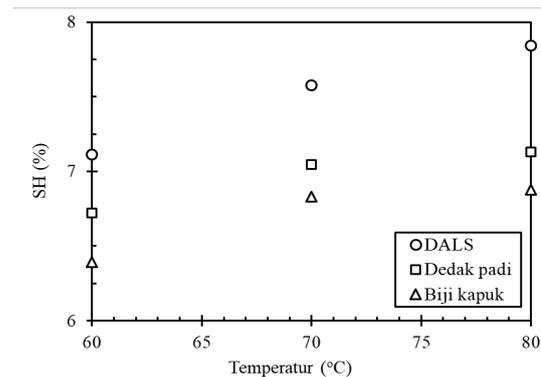
Gambar 2 menyajikan kadar merkuptan dalam produk pada berbagai temperatur reaksi. DALIS memberikan kadar merkuptan tertinggi, sementara ALB biji kapuk memberikan nilai terendah. Secara umum, kadar merkuptan meningkat jika temperatur reaksi dinaikkan. Semakin tinggi kadar merkuptan, semakin efektif stabiliser termal yang dihasilkan. Peran gugus merkuptida dalam stabilisasi PVC dapat dilihat di Gambar 3. Klorin alilik yang sangat labil, penyebab utama degradasi, membentuk ikatan koordinasi dengan atom timah yang diikuti dengan pertukaran gugus merkuptida. Pertukaran klorin alilik dengan merkuptida mencegah pelepasan hidrogen klorida dan sekaligus mencegah degradasi termal. Atas dasar kadar merkuptan, sintesis paling bagus dilaksanakan pada temperatur 80°C. Akan tetapi, pada temperatur ini, produk yang dihasilkan menggumpal ketika disimpan. Fenomena yang sama ditemukan oleh Wang dkk. (2012) yang menggunakan asam oleat sebagai bahan baku. Penyebab penggumpalan tersebut diduga karena reaksi polimerisasi produk yang terjadi pada temperatur di atas 75°C. Sehubungan dengan hal tersebut, temperatur 70°C dipandang sebagai temperatur terbaik.

Tabel 1. Karakter asam lemak bahan baku

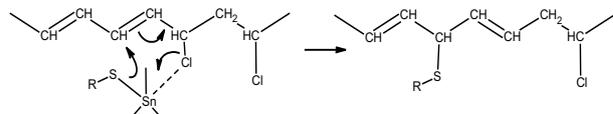
Parameter	Distilat Sawit	Dedak Padi	Biji Kapuk
Angka Asam (mg KOH/g)	184	196	192
Angka Iodin (mg I ₂ /100 g)	54	103	100
Titer (°C)	47	29	34
Kadar (%)			
C16:0	33	21	29
C18:0	6	3	4
C18:1	31	42	25
C18:2	15	29	29



Gambar 1. Spektra FTIR dari produk



Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap kadar merkuptan dalam produk

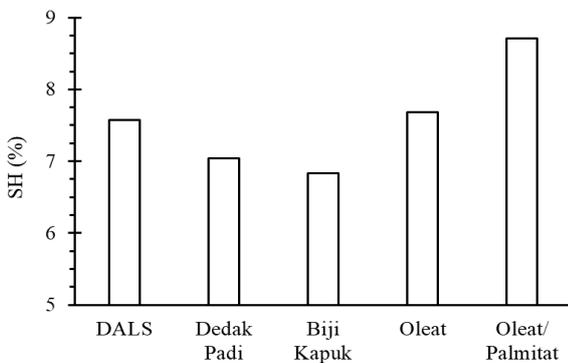


Gambar 3. Mekanisme stabilisasi PVC

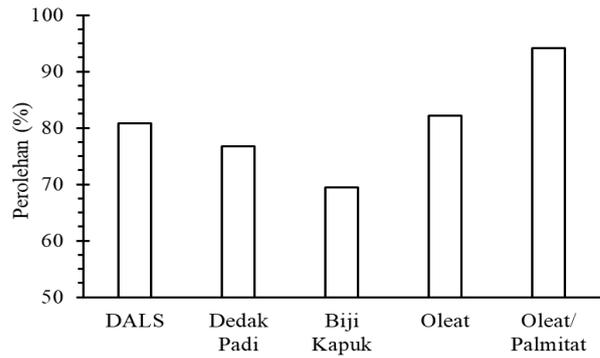
Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 secara berturut-turut menampilkan dengan lebih jelas pengaruh bahan baku terhadap kadar merkuptan, perolehan dan angka asam produk yang diperoleh pada 70°C. Di samping ketiga asam lemak yang telah dibahas sebelumnya, gambar-gambar tersebut juga menampilkan hasil untuk asam oleat murni dan campuran asam oleat dan asam palmitat (40%-b oleat). Hasil-hasil tersebut semakin memastikan bahwa DALIS memberikan produk yang lebih bagus dibandingkan dengan ALB dedak padi dan ALB biji kapuk. Baik ALB dedak padi maupun ALB biji kapuk memiliki kadar asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi dibandingkan dengan DALIS. Capaian kadar merkuptan yang lebih rendah untuk ALB dedak padi maupun ALB biji kapuk diduga terjadi karena merkuptan dari ME berinteraksi dengan ikatan tak jenuh. Merkuptan dapat menyerang ikatan rangkap menghasilkan ikatan thiol-ene dan dimanfaatkan untuk membentuk biopolimer (Machado dkk., 2017). Dugaan ini dapat diperkuat dengan membandingkan kadar merkuptan produk yang diperoleh dengan menggunakan asam oleat murni dan campuran asam oleat-palmitat. Penambahan asam palimitat (jenuh) sebesar 60% ke dalam asam oleat murni meningkatkan kadar merkuptan dari 7,6 menjadi 8,7. Satu tambahan tempuhan dengan menggunakan ALB TOFA (90% lemak tak jenuh) memberikan produk dengan kadar merkuptan sebesar 7,0%. Keberadaan reaksi samping menyebabkan capaian kadar merkuptan tidak maksimum. Secara teoritik, kadar merkuptan maksimum berada pada nilai $\pm 9,6\%$. Nilai ini diperoleh untuk asam oleat murni dengan menganggap reaksi sempurna menghasilkan merkupto etil oleat. Asam lemak dedak padi mengandung fraksi jenuh lebih sedikit dibandingkan asam lemak biji kapuk, dapat dilihat dari angka iodin, titer, dan komposisi asam lemak. Akan tetapi, asam lemak dedak padi memberikan kadar merkuptan yang lebih besar walaupun perbedaan kadar merkuptan yang ditemukan tidak sebesar perbedaan antara asam lemak sawit dan asam lemak dedak padi/biji

kapuk. Hasil dengan kedua sumber asam lemak ini memunculkan dugaan bahwa, di samping tingkat kejenuhan asam lemak, komponen minor dalam sumber asam lemak juga berpengaruh terhadap capaian kadar merkaptan dalam produk.

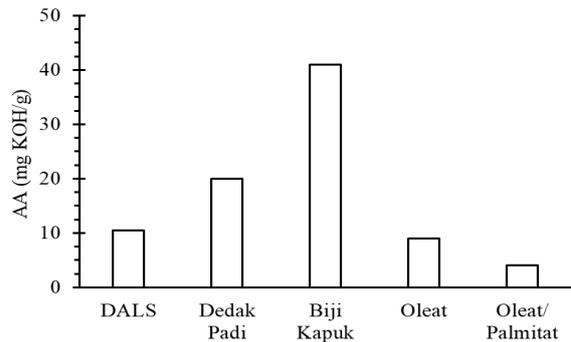
Pengamatan terhadap kadar merkaptan sejalan dengan hasil pengamatan terhadap angka asam. Dalam hal ini, ALB biji kapuk yang memberikan angka merkaptan terendah, diketahui memiliki angka asam tertinggi. Pengukuran angka asam untuk menyatakan sisa ALB (bahan baku) yang tidak terkonversi menjadi produk sebenarnya kurang akurat karena perubahan warna fenoltalein dalam menentukan titik ekivalen sulit diamati karena produk berwarna kecoklatan. Sehubungan dengan hal tersebut, penentuan titik ekivalen dalam penelitian ini dilakukan dengan memantau pH campuran selama titrasi. Gambar 7 menampilkan profil pH selama titrasi untuk merkpto etil karboksilat dari ALB biji kapuk sebagai sampel produk dan asam oleat sebagai sampel bahan baku. Berbeda dengan ALB (asam oleat dalam hal ini) yang menunjukkan peningkatan pH yang tajam di titik ekivalen, produk (merkpto etil karboksilat) hanya memperlihatkan kenaikan yang pendek sehingga menuntut kehati-hatian dalam menentukan titik ekivalen. Terlepas dari ketelitian pengukuran yang terbatas, nilai angka asam, bersama kadar merkaptan, dapat memberikan gambaran bahwa ALB dari asam lemak sawit, dedak padi, dan biji kapuk berhasil dikonversi menjadi merkpto etil karboksilat. Pada 70°C, ketiga bahan baku memberikan kadar merkaptan 6,8–7,5%. Sampel produk yang diperoleh dari pasar yang digunakan sebagai bahan baku stabiliser termal ester-balik diketahui memiliki kadar merkaptan 6,7%. Dengan demikian, merkpto etil karboksilat yang dihasilkan dari ketiga bahan baku yang dikaji telah memenuhi kebutuhan spesifikasi di pasaran. Mempertimbangkan bahwa DALS telah diproduksi dalam skala industri di tanah air dan telah tersedia dalam bentuk ALB tanpa memerlukan proses penyabunan, DALS dipandang sebagai bahan baku yang lebih potensial dibandingkan ALB dedak padi dan biji kapuk.



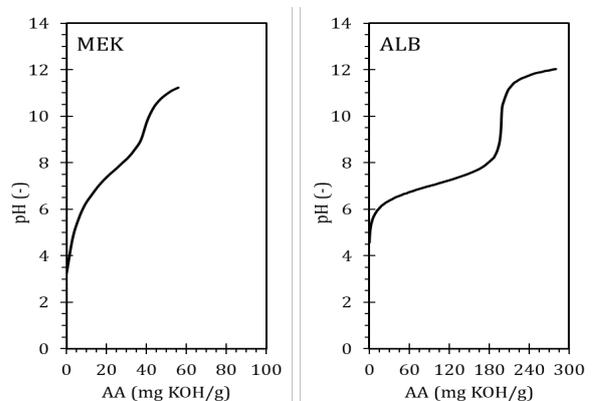
Gambar 4. Pengaruh bahan baku terhadap kadar merkaptan



Gambar 5. Pengaruh bahan baku terhadap perolehan



Gambar 6. Pengaruh bahan baku terhadap angka asam



Gambar 7. Kurva titrasi angka asam MEK dan ALB

4. Kesimpulan

Merkpto etil karboksilat sebagai bahan baku stabiliser termal PVC telah disintesis dengan berbagai sumber asam lemak bebas, yang meliputi distilat asam lemak sawit, asam lemak dari minyak dedak padi dan asam lemak dari minyak biji kapuk. Pada rentang temperatur 60–80°C, ketiga asam lemak memberikan produk dengan kadar merkaptan pada rentang 6,4–7,8%. Temperatur 70°C merupakan temperatur terbaik. Pada temperatur ini, produk memiliki angka asam pada rentang 11–41 mg KOH/g dan perolehan pada rentang 70–81%. Ketiga sumber asam lemak memberikan produk dengan kadar merkaptan yang mencukupi untuk dapat digunakan sebagai bahan baku stabiliser PVC. Mempertimbangkan kualitas produk dan ketersediaan di

pasaran, distilat asam lemak sawit dipandang sebagai bahan baku yang paling baik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Sawit (BPDS) atas dana yang diberikan untuk mendukung penelitian dengan bahan baku distilat asam lemak sawit.

Daftar Notasi

SH : kadar merkaptan (%-b)
AA : angka asam (mg KOH/g)
 λ : panjang gelombang (cm⁻¹)

Daftar Pustaka

Ali, A.; Devarajan, S., Nutritional and Health Benefits of Rice Bran Oil. *Brown Rice*, 2017, 135–158.

Anigo, K.; Dauda, B.; Sallau, A.; Chindo, I., Chemical Composition of Kapok (*Ceibapentandra*) Seed and Physicochemical Properties of its Oil. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2013, **21**(2), 105–108.

Badan Pusat Statistik, *Luas Areal Tanaman Perkebunan Rakyat Menurut Jenis Tanaman*, <https://www.bps.go.id/statistable/2013/12/31/1669/luas-areal-tanaman-perkebunan-rakyat-menurut-jenis-tanaman-2000-2018-.html> (akses 7 Desember 2018).

Berry, S.K., The Characteristics of the Kapok (*Ceiba pentandra*, Gaertn.) Seed Oil. *Pertanika*, 1979, **2**(1), 1–4.

Carraher, C.E., *Introduction to Polymer Chemistry*, 3rd ed. Florida: CRC Press, 2013.

Ceresana, *Polyvinyl Chloride*, 4th ed. Konstanz: Ceresana Market Intelligence, 2017.

Chang, A.S.; Sherazi, S.T.H.; Kandhro, A.A.; Mahesar, S.A.; Chang, F.; Shah, S.N.; Laghari, Z.H.; Panhwar, T., Characterization of Palm Fatty Acid Distillate of Different Oil Processing Industries of Pakistan. *Journal of Oleo Science*, 2016, **65**(11), 897–901.

Ciesielski, W.; Zakrzewski, R., Iodimetric Titration of Sulfur Compounds in Alkaline Medium. *Chemia Analityczna*, 2006, **51**, 653–678.

Critchfield, F.E., *Organic Functional Group Analysis*. London: Elsevier, 1963.

Erliyanti, N.K., Karakteristik Biodiesel dari Minyak Biji Randu (*Ceiba Pentandra*) pada Reaktor Batch Berpengaduk Bertekanan Menggunakan Katalis KOH. *Journal of Research and Technologies*, 2016, **2**(1), 23–27.

Fajar, A.S.; Hendrawati, T.Y., Proses Pengolahan Minyak Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*) Menjadi Methyl Ester Melalui Proses Esterifikasi Transesterifikasi dengan Variabel Konsentrasi Katalis Koh dan Waktu

Reaksi. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah 2015*, Jakarta, 17 November, 2015.

Leistner, W.E.; Hecker, A.C., *Polyvinyl Chloride and Alkyl Tin Mercaptoalcohol Monocarboxylic Acid Esters*. Patent US2870119 (A), 1959.

Machado, T.O.; Sayer, C.; Araujo, P.H.H., Thiol-Ene Polymerisation: A Promising Technique to Obtain Novel Biomaterials. *European Polymer Journal*, 2017, **86**, 200–215.

Palm Oil Analytics, *Palm Price Tracker*. <http://www.palmoilanalytics.com/price/15> dan <http://www.palmoilanalytics.com/price/18> (akses 1 Maret 2019).

Patel, M.; Naik, S.N., Gamma-oryzanol from Rice Bran Oil - A Review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2004, **63**, 569–578.

Putrawan, I.D.G.A.; Azharuddin, A.; Arum, K.R.; Adityawarman, D.; Rahim, D.A., Synthesis of Mercapto Ethyl Ester of Palm Fatty Acid Distillate. *MATEC Web of Conferences*, 2018, **156**, 06010.

Shahidi, F., (Ed.), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

Sonnet, P.E.; Moore, G.G., Thiol Esters of 2-Mercaptoethanol and 3-mercapto-1,2-propanediol. *Lipids*, 1989, **24**(8), 743–745.

Top, A.G.M., Production and Utilization of Palm Fatty Acid Distillate (PFAD). *Lipid Technology*, 2010, **22**(1), 11–13.

Vedharaj, S.; Vallinayagam, R.; Yang, W.M.; Chou, S.K.; Chua, K.J.E.; Lee, P.S., Experimental Investigation of Kapok (*Ceiba pentandra*) Oil Biodiesel As An Alternate Fuel for Diesel Engine. *Energy Conversion and Management*, 2013, **75**, 773–779.

Vogel, A.I.; Mendham, J., *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 2000.

Wallenwein, G., PVC Stabilizers: A Contribution to Sustainability. *Plastics, Additives and Compounding*, 2006, **8**(5), 26–28.

Wang, A.; Li, J.; Li, J.; Zhong, X.; Long, S., Study on Synthesis Technology of Mercaptoethyl Oleate. *Plastics Additives*, 2012, **9**(1), 34–37.

Wirth, H.O.; Andreas, H., The Stabilization of PVC Against Heat and Light. *Pure and Applied Chemistry*, 1977, **49**, 627–648.

Wypych, G., *PVC Degradation & Stabilization*, 2nd ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2008.