Kajian Potensi Produk Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit

Habibati
Dosen Program Studi Kimia Universitas Syiah Kuala Banda Aceh 23111, NAD Indonesia
Email: habibati581@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang kajian potensi produk pirolisis limbah padat kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi produk pirolisis dari cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit mula-mula dipirolisis menggunakan reaktor listrik merk *Tube Furnance Type 21100* dan selanjutnya dengan reaktor drum. Arang yang diperoleh ditentukan rendemennya dan dikarakterisasi yang meliputi kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, daya serap terhadap iodin, dan benzena. Struktur arang diidentifikasi dengan spektrometer *Fourier Transform Infra Red* dan *Scanning Electron Microscopy*. Cangkang kelapa sawit yang digunakan mengandung 10,58% air. Hasil pirolisis cangkang kelapa sawit pada reaktor listrik dengan suhu 300, 400, dan 500^{o}C diperoleh secara berturut rata-rata rendemen arang 49,17; 42,21; 36,32 (%w/w) sedangkan pada reaktor drum diperoleh rata-rata rendemen arang 38,81 (%w/w). Hasil karakterisasi arang yang dipirolisis dengan reaktor listrik pada suhu 500^{o}C mengandung 3,67% air, sedangkan dengan reaktor drum mengandung 5,33% air. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa peralatan yang dibuat dari bahan drum bekas dengan teknologi sederhana diberi nama reaktor drum dan telah terbukti dapat efektif digunakan sebagai reactor pirolisis pada pengolahan cangkang kelapa sawit.

Kata kunci: cangkang, kelapa sawit, reaktor pirolisis, mutu

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia dewasa ini cenderung mengharapkan peranan agroindustri sebagai andalan pemasukan devisa bagi negara. Hal ini terlihat dengan semakin meningkatnya perhatian pada sub sektor perkebunan terutama pengembangan perkebunan kelapa sawit. Saat ini Indonesia menduduki urutan kedua setelah Malaysia sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di dunia. Sehubungan dengan hal tersebut, Pemerintah Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam juga merencanakan pembukaan perkebunan kelapa sawit seluas 40 ribu hektar hingga tahun 2012.

Produksi minyak kelapa sawit secara nasional sudah mencapai 2 juta ton per tahun pada tahun 1990, dan diperkirakan akan terus meningkat secara tajam (Naibaho, 1990). Di samping itu,, produksi sawit yang terus meningkat, akan diikuti dengan peningkatan jumlah limbahnya. Salah satu limbah yang dihasilkan dalam jumlah besar pada pengolahan kelapa sawit adalah limbah padat. Limbah ini terdiri atas cangkang, janjang, tandan kosong, dan kulit buah.

Limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi produk yang bermanfaat dan bernilai ekonomis karena mengandung bahan organik dengan kadar yang cukup tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pratiwi *et al*. (1988), bahwa komposisi kimia tandan kosong kelapa sawit terdiri atas selulosa (36,81%), hemiselulosa (27,01%), lignin (15,70%), dan abu (6,04%). Di samping itu, Irawadi (1991) juga melaporkan bahwa komposisi kimia tandan kosong terdiri atas hemiselulosa (34,78%), selulosa (28,28%), lignin (21,56%), lemak (6,95%), dan protein (6,94%), sedangkan kandungan kimia cangkangnya terdiri atas hemiselulosa (31,70%), selulosa (32,53%), lignin (20,09%), lemak (5,33%), dan protein (4,45%).

Selama ini, penanganan limbah tersebut dilakukan dengan cara membakarnya secara terbuka dan hasilnya hanya diperoleh produk berupa abu yang manfaatnya relatif sangat terbatas. Di samping itu, penanganan semacam ini juga menimbulkan dampak negatif yang lebih besar bagi lingkungan hidup, karena mencemari udara. Sebahagian dari janjangnya ada yang diolah menjadi makanan ternak (Utomo dan Widjaja, 2004), dan kompos (Darnoko dan Sutarta, 2006). Oleh karena proses tersebut memakan waktu yang cukup lama, yaitu berkisar 3-4 bulan,

maka metode pengomposan semacam ini juga kurang efektif.

Metode yang diperkirakan sangat efektif dan efisien dalam menangani limbah padat kelapa sawit adalah dengan menerapkan metode pirolisis menggunakan reaktor yang dilengkapi dengan kondensor (Haji *et al*,. 2006). Metode ini juga dikenal dengan istilah pengarangan (karbonisasi) dan telah dikembangkan di beberapa negara maju, terutama untuk menangani sampah plastik (Noike 2005; Nomura dan Kato 2006; Qiao *et al.*, 2005). Akan tetapi, penanganan limbah dengan metode tersebut, di Indonesia masih sangat jarang dilakukan. Padahal proses degradasi limbah dengan menggunakan metode tersebut dapat berlangsung dalam waktu relatif cepat. Keuntungan metode tersebut, selain mampu meminimisasi pencemaran udara pada proses karbonisasi, juga dihasilkan produknya berupa arang yang sangat banyak manfaatnya dalam kehidupan manusia. Arang bermanfaat sebagai sumber energi baru terutama jika dikembangkan menjadi briket dengan teknologi pengepresan (Haji, 2007). Penggunaan briket sebagai bahan bakar sangat menguntungkan, terutama pada saat ini sedang terjadi krisis bahan bakar. Pendapat ini diperkuat oleh Matsuzawa *et al*. (2007) yang mengatakan bahwa arang sangat bermanfaat sebagai sumber energi/bahan bakar. Arang juga dapat dimanfaatkan sebagai pembangun kesuburan tanah (Gusmailina dan Pari, 2002).

Arang dapat ditingkatkan mutu dan nilainya dengan cara aktivasi menjadi arang aktif. Mutu arang aktif selain bergantung pada bahan baku, juga dipengaruhi oleh suhu, waktu dan juga aktivator yang digunakan pada proses aktivasinya (Haji, 2007). Arang aktif mempunyai spektrum penggunaannya yang cukup luas dalam kehidupan manusia, terutama sebagai adsorben berbagai macam gas pada proses pemurnian minyak (Guo *et al.*, 2007), industri kimia (Figueroa-Torres *et al.*, 2007), dan penjernihan air (Klose dan Rincon, 2007; Srivasta et al., 2007; Marinovic *et al*. 2005). Di samping itu, arang aktif juga dapat digunakan sebagai katalis pada berbagai reaksi kimia (Gheek *et al*., 2007; Zawadzki dan Wisniewski, 2007; Cheng-Juri *et al*., 2005).

Berdasarkan uraian di atas, ada dua permasalahan yang diajukan yaitu: 1) apakah dapat dibuat reaktor pirolisis secara sederhana dan mampu mengolah cangkang kelapa sawit dalam waktu relatif cepat dan 2) Bagaimanakah karakteristik arang sebagai produk utama pada pirolisis cangkang kelapa sawit. Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan reaktor pirolisis sederhana yang mampu mengolah cangkang kelapa sawit dalam waktu relatif cepat dan untuk mengetahui karakteristik arang sebagai produk utama pada pirolisis cangkang kelapa sawit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dibuat suatu teknologi sederhana berupa reaktor pirolisis yang dilengkapi dengan kondensor untuk mengolah cangkang (tempurung biji) kelapa sawit secara cepat melalui teknik pirolisis untuk menghasilkan arang. Teknologi sederhana ini dirancang sedemikian rupa guna meminimalisir terjadinya limbah selama dan/atau sesudah proses berlangsung.

METODE PENELITIAN

1. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit sebagai limbah padat yang diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Tanjong Seumentok Kecamatan Karang Baru Kabupaten Aceh Tamiang Provinsi Aceh. Bahan bakar yang digunakan pada pirolisis dengan reaktor drum adalah serbuk gergajian kayu.

Peralatan yang digunakan pada proses pirolisis, yaitu 1) reaktor listrik merk *Turbe Furnance Tipe 21100* yang dilengkapi dengan alat pengatur suhu merk *Thermolyne* untuk mempelajari karakteristik produk arang pada temperatur terkontrol dan 2) reaktor drum yang dibuat dari bahan yang sederhana dan dilengkapi dengan alat pencatat suhu merk *K-Thermocouple Thermometer tipe HI 8757* untuk memperoleh produk pirolisis dalam jumlah relatif besar untuk kebutuhan pengembangannya. Peralatan penunjang yang diperlukan antara lain timbangan analitik, pH meter merk *Waterproof Hanna Instrumen*, ayakan 100 mesh, blender, selang plastik, tanur, calorimeter bomb, dan pompa air. Peralatan instrumen analisis yang digunakan adalah FTIR, dan SEM.

2. Prosedur Kerja

Preparasi dan Analisis Sampel. Sebelum proses pirolisis cangkang kelapa sawit dilakukan terlebih dahulu dipreparasi dan dikarakterisasi dengan langkah sebagai berikut: 1) bahan baku cangkang kelapa sawit digiling dengan mesin penggiling, lalu hasilnya diayak dengan ayakan 100 mesh; 2)

serbuk hasil ayakan dikarakterisasi sifat-sifat dasarnya yang meliputi penentuan kadar air, abu, zat terbang, karbon, dan nilai kalor, 3) diuji daya serapnya terhadap iodin, dan benzena.

Pembuatan Reaktor Drum. Reaktor drum untuk proses pirolisis dirancang secara sederhana dari bahan drum bekas (tebal pelat 1,5 mm) dengan ukuran tinggi 45 cm dan diameter 60 cm. Pipa penyalur asap terbuat dari besi berdiameter 2 inci dengan panjang 120 cm, yang terhubung antara reaktor dengan kondensor. Kondensor atau pendingin dibuat dari bahan yang sama dengan reaktor dengan ukuran tinggi 86 cm dan diameter 60 cm. Tungku pembakaran juga dibuat dari bahan yang sama dengan reaktor dengan ukuran tinggi 40 cm dan diameter 60 cm.

Pirolisis Menggunakan Reaktor Standar. Proses ini bertujuan mengetahui karakteristik produk pirolisis cangkang kelapa sawit pada beberapa taraf suhu. Proses pirolisis menggunakan peralatan merk *Tube Furnance type 21100* yang dilakukan melalui beberapa tahapan antara lain 1) cangkang kelapa sawit ditimbang sebanyak 150 gram; 2) cangkang dimasukkan ke dalam tabung pirolisator dan dirangkai semua peralatannya; 3) suhu proses diatur dengan alat *Thermolyne* pada 300^{o}C dan dijalankan selama 5 jam; 4) setelah proses berlangsung selama 5 jam, cok arus listrik dicabut dan reaktor dibiarkan dingin secara alami selama 24 jam; 5) produk arang ditimbang dan ditentukan rendemennya, dan 6) diulangi proses pirolisis dengan cara yang sama dengan pengaturan suhu pada 400^{o}C dan 500^{o}C.

Gambar 1. Peralatan reaktor listrik

Pirolisis Menggunakan Reaktor Drum. Proses ini bertujuan mendapatkan jumlah produk arang yang mencukupi kebutuhan analisis dan pengembangannya. Proses pirolisis ini dilakukan dengan langkah-langkah antara lain 1) cangkang kelapa sawit ditimbang sebanyak 20 kg; 2) cangkang hasil penimbangan dimasukkan ke dalam reaktor drum dan semua peralatannya dirangkai sesuai fungsinya; 3) disiapkan tungku pembakaran dengan bahan bakar serbuk gergajian; 4) tungku pembakaran dinyalakan dan diukur suhu selama proses berlangsung dengan alat pencatat merk *K-Thermocouple Tipe 8757*; 5) dijalankan proses pirolisis selama 5 jam, dan setelah selesai dipadamkan api di dalam tungku dan dibiarkan dingin secara alami; 6) produk arang ditimbang dan ditentukan rendemennya, dan (8) diulangi pekerjaan tersebut dengan cara yang sama sebanyak 3 (tiga) kali.

Karakterisasi Arang. Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dasar arang hasil pirolisis cangkang kelapa sawit yang meliputi kadar air, abu, zat terbang, karbon, nilai kalor, dan daya serap terhadap iodin, dan benzena. Karakteristik struktur dianalisis dengan teknik FTIR dan SEM. Semua prosedur karakterisasi mengikuti cara yang sama seperti pada karakterisasi bahan baku cangkang kelapa sawit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Bahan Baku

Cangkang kelapa sawit yang digunakan adalah limbah padat yang sudah menggunung di lingkungan Pabrik Kelapa Sawit Tanjong Sementok Aceh Tamiang. Cangkang tersebut mempunyai struktur fisik yang padat, keras dan berwarna coklat kehitaman. Oleh karena itu, cangkang ini sangat sukar terdegradasi secara alami. Hal ini juga didukung oleh data tentang kadar air rata-rata cangkang kelapa sawit adalah 10,58 (%w/w). Kadar air suatu bahan juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses penguraian bahan tersebut secara alami.

2. Pembuatan Reaktor Drum

Reaktor pirolisis ini sengaja dibuat dari bahan drum bekas secara sederhana, namun fungsinya dapat digunakan untuk proses pirolisis cangkang kelapa sawit. Secara lengkap peralatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Salah satu keunggulan peralatan ini terletak pada kemampuannya mengolah cangkang kelapa sawit secara pirolisis dalam skala relatif besar, yaitu berkisar 20-30 kg per kali proses. Di samping itu, juga digunakan bahan bakar yang murah dan mudah didapat karena berupa limbah panglong kayu yaitu serbuk gergajian. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk satu kali proses pirolisis hanya berkisar 15-20 kg. Keuntungan lain dari peralatan ini yaitu tergolong peralatan yang sangat mudah dioperasikan.

3. Produk Arang

Arang yang dihasilkan pada proses pirolisis cangkang kelapa sawit umumnya memiliki penampilan fisik yang relatif seragam dan berwarna hitam. Arang ini kemudian dihaluskan hingga berbentuk serbuk dan diayak dengan ayakan 100 mesh supaya diperoleh ukurannya yang relatif seragam untuk keperluan analisis sifat-sifat dasar dan strukturnya. Serbuk arang ini menunjukkan beberapa sifat fisik antara lain miliki warna hitam, tidak berbau dan tidak larut dalam air. Data hasil pirolisis cangkang kelapa sawit disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Gambar 2. Alat Reaktor Drum untuk Pirolisis

Tabel 1. Rendemen hasil pirolisis cangkang kelapa sawit dengan reaktor listrik

Suhu Pirolisis (ºC)	Ulangan ke	Bobot Sampel (g)		Bobot Produk (g)	Rendemen (%w/w)
		Awal	Kering	Arang	Arang
300	1	150	135,65	64,05	47,22
	2	150	135,65	68,65	50,61
	3	150	135,65	67,39	49,68
	Rerata				**49,17**
400	1	150	135,65	60,55	44,64
	2	150	135,65	56,15	41,39
	3	150	135,65	55,05	40,61
	Rerata				**42,21**
500	1	150	135,65	50,71	37,38
	2	150	135,65	49,75	36,68
	3	150	135,65	47,35	34,91
	Rerata				**36,32**

Tabel 2. Rendemen hasil pirolisis cangkang kelapa sawit dengan reaktor drum

Percobaan Ke	Bobot Sampel (kg)		Bobot Produk (kg)	Rendemen (%w/w)
	Awal	Kering	Arang	Arang
1	25,80	23,33	8,23	35,28
2	21,58	19,52	8,16	41,80
3	23,26	21,04	8,28	39,35
Rerata				**38,81**

Rendemen merupakan nilai yang penting untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari suatu proses. Rendemen arang hasil pirolisis dengan reaktor listrik selama 5 jam pada suhu 300, 400, dan 500ºC rata-rata secara berturut 49,17; 42,21; 36,32 (%w/w) (Tabel 1), sedangkan hasil pirolisis dengan reaktor drum rata-rata diperoleh 38,81 (%w/w) (Tabel 2). Rendemen arang tertinggi diperoleh pada proses pirolisis dengan reaktor listrik dengan suhu 300ºC dan yang terendah terdapat pada proses dengan suhu 500ºC. Tinggi rendahnya rendemen arang yang dihasilkan bergantung pada kadar air bahan baku dan suhu pirolisisnya. Bervariasinya rendemen arang yang dihasilkan juga disebabkan komposisi bahan baku yang digunakan relatif kurang homogen. Arang dengan kematangan sempurna dihasilkan pada suhu pirolisis 500ºC, sedangkan pada suhu 400 dan 300ºC mempunyai tingkat kematangan secara berturut 87 dan 63%. Sementara itu, tingkat kematangan arang hasil pirolisis dengan reaktor drum berkisar 74-86%.

Tabel 3. Kadar air arang hasil pirolisis cangkang kelapa sawit

Jenis Reaktor	Suhu Pirolisis (ºC)	Ulangan ke	Bobot arang (g)		Kadar air (%w/w)
			awal	Setelah dioven	
Listrik	500	1	2	1,93	3,50
		2	2	1,94	3,00
		3	2	1,91	4,50
		Rerata			**3,67**
Drum	378	1	2	1,91	4,50
		2	2	1,89	5,50
		3	2	1,88	6,00
		Rerata			**5,33**

Kadar air arang cangkang kelapa sawit baik yang dipirolisis dengan reaktor listrik maupun reaktor drum disajikan pada Tabel 3.

SIMPULAN

Peralatan yang dibuat dari bahan drum bekas dengan teknologi sederhana diberi nama reaktor drum dan telah terbukti dapat efektif digunakan sebagai reaktor pirolisis pada pengolahan cangkang kelapa sawit dengan kapasitas mencapai 20-30 kg dalam waktu 5 jam menghasilkan produk arang. Oleh karena bahan baku cangkang kelapa sawit yang digunakan mengandung 10,58% air, maka hasil pirolisisnya dengan reaktor listrik pada suhu 300, 400, dan 500ºC diperoleh secara berturut rata-rata rendemen arang 49,17; 42,21; 36,32 (%w/w) sedangkan dengan reaktor drum diperoleh rata-rata rendemen arang 38,81 (%w/w). Hasil karakterisasi arang yang dipirolisis dengan reaktor listrik pada suhu 500ºC mengandung 3,67% air, sedangkan dengan reaktor drum mengandung 5,33% air.

UCAPAN TERMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui pimpinan Universitas Syiah Kuala yang telah sudi membiayai proyek Penelitian Hibah Bersaing ini sehingga semuanya dapat berjalan dan sukses sesuai rencana yang telah diprogramkan. Selanjutnya, ucapan terimakasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan membantu kelancaran penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Adan Standarisari Nasional. 1996. *Arang Kayu*. BSN; (SNI 01-1682-1996). Jakarta.

Badan Standarisari Nasional. 1995. *Arang Aktif Teknis*. BSN; (SNI 06-3730-95). Jakarta.

Cheng-Juri, J., Y. Hong, and C. Zhi-Rong. 2005. *Hydrogenation of Ortho-Nitrochloro-Benzene on Activated Carbon Supported Platinum Catalysts*. Jounal of Zhejiang University Science 6B(5):378-381.

Darnoko, dan A.S. Sutarta. 2006. *Pabrik Kompos di Pabrik Sawit*. Artikel Tabloid Sinar Tani, 9 Agustus 2006.

Figueroa-Torres, M.Z., A. Robau-Sanchez, L.D.I. Torre-Saenz, and A. Aguilar-Elguezabal. 2007. *Hydrogen*

Adsorption by Nanostructured Carbons Synthesized by Chemical Activation. Microporous and Mesoporous Materials 98:89-93.

Gheek, P., S. Suppan, J. Trawczynski, A. Hynaux, C. Sayag, and G.D. Mariadssou. 2007. *Carbon Black Composites-Supports of HDS Catalysts*. Catalysis Today 119:19-22.

Guo, J., Y. Luo, A.C. Lua, R.A. Chi, Y.L. Chen, X.T. Bao, and S.X. Xiang. 2007. *Adsorption of Hydrogen Sulphide (H_2S) by Activated Carbons Derived from Oil-Palm Shell*. Carbon 45:330-336.

Gusmailina, dan G. Pari. 2002. *Pengaruh Pemberian Arang terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah (Capsicum Annum)*. Buletin Penelitian Hasil Hutan 20(3):217-229.

Haji, A.G. 2007. *Konversi Sampah Organik Menjadi Komarasca (Kompos-Arang Aktif-Asap Cair) dan Aplikasinya pada Tanaman Daun Dewa* [Disertasi Program Doktor]. Sekolah Pascasarjana, IPB Bogor.

Haji, A.G., Z.A. Mas'ud, B.W. Lay, S.H. Sutajhjo, dan G. Pari. 2006. *Pembuatan Arang dari Sampah Organik Padat dengan Reaktor Pirolisis*. J. Purifikasi 7(2):139-144.

Haji, A.G., Z.A. Mas'ud, B.W. Lay, S.H. Sutajhjo, dan G. Pari. 2007. *Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Organik Padat*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian 16(3):113-120.

Irawadi, T.T. 1991. *Produksi Enzim Ekstrasellular (Sellulase Dan Xilanase) dari Neurospora Sitophilla pada Substrat Limbah Padat Kelapa Sawi*t [Disertasi Program Doktor] Fakultas Pascasarjana, IPB Bogor.

Klose, W., and S. Rincon. 2007. *Adsorption and Reaction of NO on Activated Carbon in the Presence of Oxygen and Water Vapour*. Fuel 86:203-209.

Marinovic, V., M. Ristic, and M. Dostanic. 2005. *Dynamic Adsorption of Trinitro-Toluene on Granular Activated Carbon*. Journal of Hazardous Materials 117(2-3):121-128.

Matsuzawa, Y., K. Mae, I. Hasegawa, K. Suzuki, H. Fujiyoshi, M. Ito, and M. Ayabe. 2007. *Characterization of Carbonized Municipal Waste as Substitute for Coal Fuel*. Fuel 86:264-272.

Naibaho, P.M. 1990. *Prospek Pengembangan Industri Hilir Kelapa Sawit*. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit, Pebruari 1990 di Pekan Baru Provinsi Riau.

Namura, S. dan K. Kato. 2006. *The Effect of Plastic Size on Coke Quality and Coking Pressure in the Co-Carbonization of Coal/Plastic in Coke Oven*. Fuel 85:47-56.

Noike, T. 2005. *Present Status of Biowaste Recycling in Japan*. http://www.jora.jp/anor/ eng/img/noike.pdf. [6 Juni 200].

Pratiwi, W., O. Atmawinata, dan R.S. Pudosunarjo. 1988. *Pembuatan Pulp Kertas dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Soda Antrakuinon*. Menara Perkebunan 56: 49-52.

Qiao, W. M., Y. Song, S-H. Yoon, Y. Korai, I. Mochida, S. Yoshiga, H. Fukuda, dan A. Yamazaki. 2005. *Carbonization of Waste PVC to Develop Porous Carbon Material Without Further Activation*. Waste Management, in Press.

Srivastava, V.C., M.M. Swamy, I.D. Mall, B. Prasad, and I.M. Mishra. 2006. *Adsorptive Removal of Phenol By Baggase Fly Ash and Activated Carbon: Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamics*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Enggineering Aspects 272:89-104.

Utomo, B.N., dan E. Widjaja. 2004. *Limbah Padat Pengolahan Minyak Sawit sebagai Sumber Nutrisi Ternak*

Ruminansia. Jurnal Litbang Pertanian 23(1): 73-82.

Zawadzki, J., and M. Wisniewski. 2007. *An Infrared Study of The Behavior of SO2 and Nox Over Carbon and Carbon-Supported Catalysts*. Catalys Today 119:213-218.