

# Torefaksi Pelepah Sawit : Pengaruh Kondisi Proses terhadap Nilai Kalor Produk Torefaksi

Wenny Susanty, Zuchra Helwani, Zulfansyah

Laboratorium Teknologi Oleokimia

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5, Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

Email : susantywenny@gmail.com

## ABSTRACT

*Palm frond is biomass that has not been widely used as a renewable energy source. Torrefaction is a pretreatment process to improve the quality of the biomass as solid fuel. The aim of this research was to determine the condition of the process to the increase in calorific value torrefaction product. Results of the research is the calorific value and the proximate analysis torrefaction products such as moisture content, ash content, volatile content, and the content of fixed carbon. Torrefaction product calorific value in the range 17.700-19.800 kJ/kg.*

*Key words: biomass, oil palm frond, renewable energy, solid fuel, torrefaction,*

## 1. Pendahuluan

Provinsi Riau merupakan daerah dengan perkebunan sawit terluas di Indonesia, mencapai  $\pm 2,3$  juta hektar [Ditjen Perkebunan, 2014]. Pada saat panen tandan buah segar (TBS), 1-2 helai pelepah sawit dipotong dengan tujuan memperlancar penyerbukan dan mempermudah panen berikutnya. Pelepah yang dihasilkan berjumlah 6.400–7.500 pelepah dalam satu hektar per tahun, dengan bobot pelepah sekitar 4,5 kg/helai [Simanihuruk dkk., 2008]. Sehingga potensi pelepah sawit yang dihasilkan dari luas perkebunan sawit di Riau pada tahun 2014 mencapai 7,7 juta ton pelepah kering.

Selama ini pelepah sawit hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak, pupuk kompos, dan dibiarkan di area perkebunan [Hidayanto, 2013]. Penanggulangan dengan cara ini tidak memberikan nilai tambah ekonomi. Pelepah sawit akan memiliki nilai tambah ekonomi jika digunakan sebagai sumber energi terbarukan, karena potensi energi yang dimiliki pelepah sawit sebesar  $\pm 1,3$  TJ per tahun [Abduh, 2014]. Potensi energi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi

alternatif. Salah satu proses untuk mendapatkan sumber energi alternatif adalah torefaksi.

Torefaksi merupakan proses pengolahan biomassa pada rentang suhu 200-300°C. Pada suhu ini terjadi pelepasan hemiselulosa dan zat-zat volatil, sehingga akan mengurangi kadar O/C dan H/C. Pengurangan kadar O/C dan H/C akan meningkatkan *mass yield* dan *energi yield*. Tujuan dari torefaksi adalah meningkatkan nilai kalor serta memaksimalkan *mass yield* dan *energi yield* [Basu, 2013].

Torefaksi telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Nilai kalor hasil torefaksi pelepah sawit meningkat sekitar 50% dari nilai kalor sebelum torefaksi [Sulaiman dan Anas, 2012]. Torefaksi tandan kosong sawit, cangkang sawit, dan sabut sawit pada suhu 200-300°C selama 30 menit dengan laju alir N<sub>2</sub> 0,5L/menit menghasilkan nilai kalor yang naik dengan bertambahnya suhu torefaksi [Uemura dkk., 2011].

Proses torefaksi *food wastes* pada suhu 250-350°C selama 10-50 menit menghasilkan nilai kalor yang turun pada waktu dibawah 50 menit. Sedangkan nilai

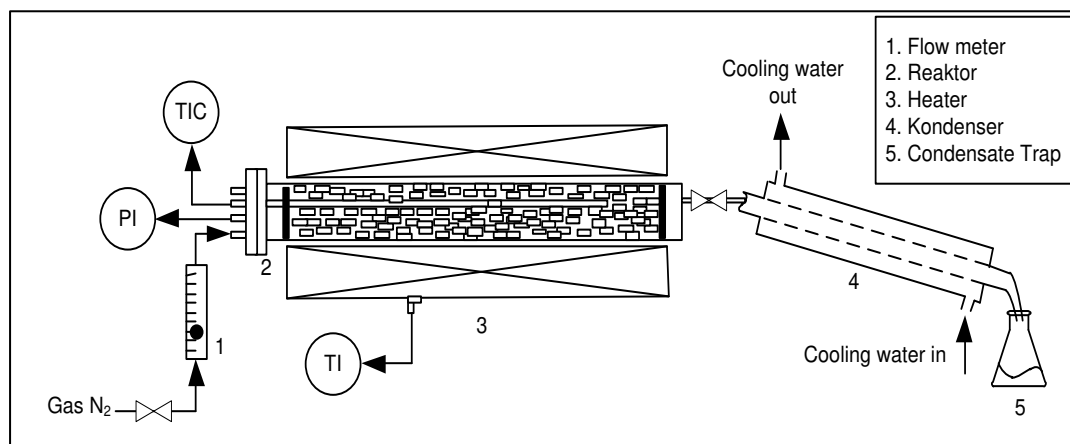
kalor menurun pada waktu 50 menit [Poudel dkk., 2015]. Jenis *carrier gas* mempengaruhi nilai kalor hasil torefaksi. *Carrier gas* berupa udara menghasilkan nilai kalor yang turun. Sedangkan, *carrier gas* N<sub>2</sub> menghasilkan nilai kalor yang naik [Lu dkk., 2012]. Penelitian torefaksi pelepah sawit bertujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi proses terhadap nilai kalor produk torefaksi.

## 2. Metode Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah sawit dan gas

N<sub>2</sub>. Gas N<sub>2</sub> berfungsi untuk membawa oksigen keluar dari reaktor dan volatil yang terbentuk selama proses torefaksi.

Reaktor *fix bed* horizontal yang digunakan pada penelitian ini berdimensi panjang 60 cm dan diameter 6 cm. Reaktor dilengkapi dengan kondenser berdimensi panjang 70 cm dan *condensate trap* berupa 2 (dua) erlenmeyervaccum. Skema Rangkaian peralatan percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema Reaktor Torefaksi

Untuk mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan meliputi persiapan bahan baku, proses torefaksi, analisa hasil, dan pengolahan data. Tahap persiapan bahan baku bertujuan untuk mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan dalam percobaan sehingga mempunyai bentuk yang seragam dan dapat dengan mudah digunakan dalam tahapan selanjutnya. Tahapan ini meliputi pembersihan, pengecilan ukuran, dan pengeringan pelepah sawit.

Untuk mempermudah pengeringan, pelepah sawit terlebih dahulu dipotong hingga ukurannya  $\pm 1$  cm. Kondisi proses yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu torefaksi 225, 250, dan 275°C selama 15, 30, dan 45 menit. Nitrogen yang dialirkan selama proses torefaksi

berlangsung sebesar 50, 100, dan 150 mL/menit. Setelah tahap torefaksi selesai, maka sampel disimpan dalam wadah kedap udara untuk selanjutnya dianalisa.

Kondisi awal bahan baku dapat mempengaruhi kualitas produk torefaksi. Sehingga, dilakukan analisis terhadap bahan baku. Analisis bahan baku terdiri dari pengujian nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat volatil dan kadar *fixed carbon*. Analisis nilai kalor mengikuti prosedur ASTM D-5865-13. Analisis proksimat (kadar air, kadar volatil, kadar abu, dan kadar *fixed carbon*) mengikuti prosedur ASTM D-3172-2013 sampai ASTM D-3175-2013. Setelah analisis data, dilakukan analisis model menggunakan *Response Surface Method* (RSM). Model orde 2 menggunakan *Central Composite Design* (CCD).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik pelepah sawit sebelum dan setelah torefaksi ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik Pelepah Sawit

Karakteristik	Bahan Baku	Produk Torefaksi
Nilai Kalor	16.800 kJ/kg	17.700 – 19.600 kJ/kg
Kadar Air	6 – 8 %	3 – 4 %
Kadar Abu	0,93 %	1,5 – 4 %
Kadar Volatil	62 %	45 – 55 %
Kadar FixedCarbon	16,9 %	37 – 46 %

Nilai kalor meningkat mencapai 17% setelah torefaksi. Nilai kalor bahan baku meningkat dari 16.800 kJ/kg menjadi 17.700-19.600 kJ/kg setelah torefaksi. Nilai kalor meningkat dengan

bertambahnya suhu torefaksi. Peningkatan nilai kalor terjadi karena berkurangnya kadar H/C dan O/C, sehingga meningkatkan kadar C pada pelepah [Uemura dkk., 2012; Basu, 2013].

Hasil analisis polinomial orde 2 dirangkum pada Tabel 2. Hipotesis pengujian kecocokan model terhadap respon dari hasil percobaan menggunakan analisis varian:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 \dots = \beta_k$  tidak terdapat kesesuaian terhadap model

$H_1$ : Tidak semua  $\beta_i$  terdapat kesesuaian terhadap model

Pernyataan  $H_0$  disebut hipotesis nol dan  $H_1$  merupakan hipotesis alternatif. Pernyataan  $H_0$  diterima apabila  $F_0$  ( $F_{hitung}$ ) kondisi operasi sama atau lebih kecil dari statistik distribusi F ( $F_{tabel}$ ). Nilai  $H_0$  ditolak jika  $F_{tabel}$  lebih besar dari  $F_0$ , dimana  $F_0$  dapat dihitung menggunakan perbandingan *mean square regrestion* terhadap *mean square error*.

**Tabel 2.** ANOVA Orde 2 Respon Nilai Kalor

Source	Df	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	12654409	1406045	13.05	0.000
Linear	3	11901669	3967223	36.82	0.000
$X_1$	1	7803507	7803507	72.42	0.000
$X_2$	1	3906831	3906831	36.26	0.000
$X_3$	1	191331	191331	1.78	0.193
Square	3	494319	164773	1.53	0.227
$X_1X_1$	1	436387	436387	4.05	0.053
$X_2X_2$	1	49109	49109	0.46	0.505
$X_3X_3$	1	67943	67943	0.63	0.433
2-Way Interaction	3	258420	86140	0.80	0.504
$X_1X_2$	1	54666	54666	0.51	0.482
$X_1X_3$	1	195371	195371	1.81	0.188
$X_2X_3$	1	8384	8384	0.08	0.782
Error	30	3232787	107760		
Lack-of-Fit	5	722207	144441	1.44	0.245
Pure Error	25	2510579	100423		
Total	39	15887195			

$R^2 = 79.65\%$   $R^2$  (adj) = 73.55%  
 $R^2$  (pred) = 60.63%  $R^2 = 79.65\%$

percobaan [Montgomery, 2013; Myers, 2009]. Nilai  $R^2$  yang dihasilkan dari analisis orde 2 sebesar  $Y = 79,65\%$ .

Nilai  $F_{tabel}$  adalah  $F_{(\infty, dF_1, dF_2)}$  dengan tingkat probabilitas yang digunakan 0,05, sedangkan  $dF$  merupakan derajat kebebasan. Sebaran nilai  $F_{tabel}$  pada  $F_{(0,05,9,30)}$  adalah 2,16. Jika hasil perhitungan  $F_o > F_{(0,05,9,30)}$  maka dapat dinyatakan bahwa hipotesis  $H_o$  ditolak. Model menunjukkan kesesuaian terhadap kondisi operasi seperti suhu ( $X_1$ ), waktu ( $X_2$ ) dan laju alir  $N_2$  ( $X_3$ ). Hasil  $F_o$  nilai kalor lebih besar dari  $F_{tabel}$ , sehingga model yang diperoleh sesuai terhadap kondisi operasi.

Persamaan empiris 1 merupakan persamaan untuk nilai kalor.

Nilai yang dihasilkan menunjukkan kondisi operasi respon (Nilai kalor) terhadap model orde 2. Nilai  $p_{value}$  model yang semakin kecil memberikan pengaruh signifikan terhadap kondisi operasi. Nilai  $p_{value}$  yang memberikan nilai yang signifikan  $< 0,05$ . Kesesuaian model dengan data hasil percobaan untuk setiap kondisi operasi diketahui dengan uji *lack of fit*. Nilai uji *lack of fit* setiap respon adalah  $> 0,05$ . Sehingga terdapat kesesuaian model dengan data hasil percobaan. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) berfungsi untuk mengetahui ketepatan model regresi dengan respon

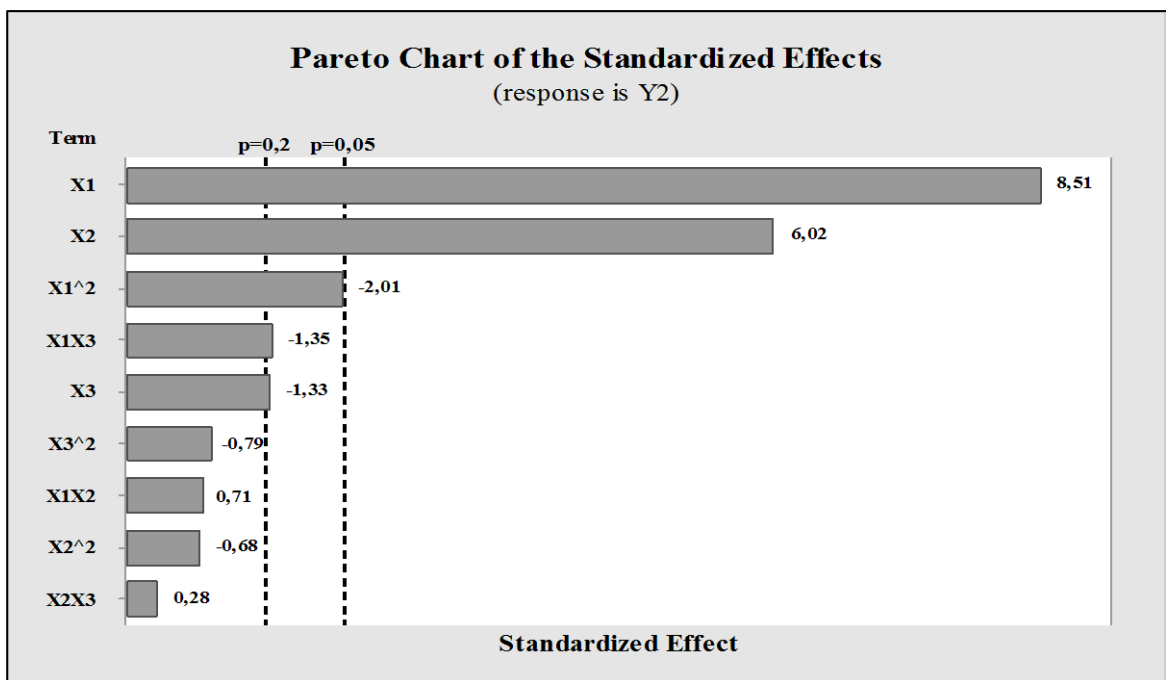
$$Y = 18782,5 + 534,5 X_1 + 378,2 X_2 - 83,7 X_3 - 123,0 X_1^2 - 41,3 X_2^2 - 48,6 X_3^2 + 58,5 X_1 X_2 - 110,5 X_1 X_3 + 22,9 X_2 X_3 \dots \dots \dots (1)$$

Dengan,

- Y = Respon nilai kalor
- $X_1$  = Suhu torefaksi tak berdimensi dalam kondisi operasi kode
- $X_2$  = Waktu torefaksi tak berdimensi dalam kondisi operasi kode

$X_3$  = Laju alir  $N_2$  torefaksi tak berdimensi dalam kondisi operasi kode

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap nilai kalor ditampilkan pada *pareto chart* (Gambar 2).



Gambar 2. Pareto chart untuk Respon Y (Nilai Kalor)

Prsamaan empiris 2berfungsi untuk mendapatkan grafik *response surface*.

$$Y = 18782,5 + 534,5 X_1 + 378,2 X_2 \dots (2)$$

Dengan,

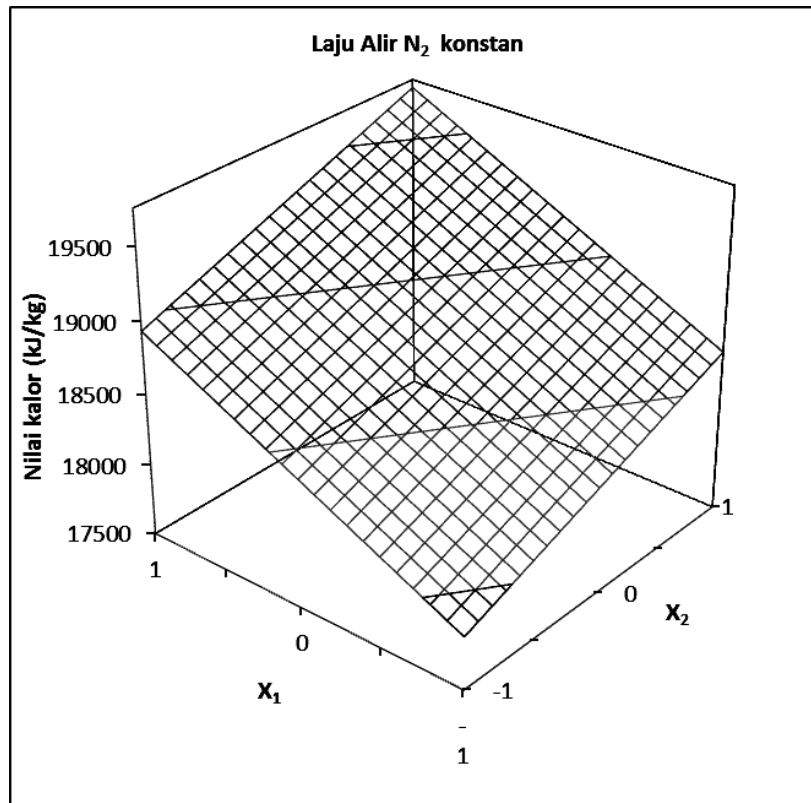
$Y$  = Respon nilai kalor

$X_1$  = Suhu torefaksi tak berdimensi dalam kondisi operasi kode

$X_2$  = Waktu torefaksi tak berdimensi dalam kondisi operasi kode

$X_3$  = Laju alir  $N_2$  torefaksi tak berdimensi dalam kondisi operasi kode

Laju alir  $N_2$  dan interaksi antar variabel, serta interaksi kuadratik tidak memberikan pengaruh terhadap respon. Sehingga, koefisien yang digunakan hanya suhu dan waktu torefaksi. Grafik pengaruh interaksi antar variabel ditampilkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Pengaruh Suhu dan Waktu Torefaksi terhadap Nilai Kalor pada Laju Alir  $N_2$  Konstan

Nilai kalor ( $Y$ ) yang dihasilkan pada laju alir  $N_2$  konstan selama 15 menit dan suhu  $225^\circ\text{C}$  sebesar  $17.870 \text{ kJ/kg}$ . Sedangkan, pada waktu 45 menit dan suhu  $275^\circ\text{C}$  menghasilkan nilai kalor sebesar  $19.695 \text{ kJ/kg}$ . Pada suhu  $275^\circ\text{C}$ , waktu 15 menit dengan laju alir  $N_2$  yang sama, dihasilkan nilai kalor sebesar  $18.939 \text{ kJ/kg}$ . Nilai kalor yang dihasilkan pada suhu  $225^\circ\text{C}$  selama 45 menit sebesar  $17.626 \text{ kJ/kg}$ . Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu dan waktu, nilai kalor semakin

besar. Peningkatan nilai kalor disebabkan karena pada kadar H/C dan O/C pada biomassa semakin rendah, sehingga kadar karbon pada biomassa semakin tinggi. Penambahan kadar karbon, meningkatkan nilai kalor [Basu, 2012].

#### 4. Kesimpulan

Kondisi proses yang paling berpengaruh terhadap nilai kalor adalah suhu torefaksi. Nilai kalor yang dihasilkan sebesar  $17.700\text{-}19.800 \text{ kJ/kg}$  setelah torefaksi.

### Daftar Pustaka

- Abduh, S, 2014, 'Peran Masyarakat dalam Pengelolaan Energi Nasional', *Dewan Energi Nasional*, Palu, 17 November 2014.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials D-5865, 2013, *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter*.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials D-3172, 2013, *Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke*.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials D-3174, 2013, *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal*.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials D-3173, 2013, *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke*.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials D-3175, 2013, *Standard Test Method for fixed carbon in the Analysis Sample of Coal and Coke*.
- Basu, P, 2013, *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*, 2nd ed, Elsevier Inc, New York.
- Basu, P, Rao, S dan Dhungana, A, 2012, 'An Investigation Into The Effect of Biomass Particle Size on its Torrefaction', *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 9999, hal.1-9.
- Hidayanto, M, 2013, 'Limbah Kelapa Sawit sebagai Sumber Pupuk Organik dan Pakan Ternak', *Seminar Optimalisasi Hasil Samping Perkebunan Kelapa Sawit dan Industri Olahannya sebagai Pakan Ternak*, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Timur, hal. 84-90.
- Kementrian Pertanian, 2014, *Pertumbuhan Areal Sawit Meningkat*, <http://ditjenbun.pertanian.go.id/berita-362-pertumbuhan-areal-kelapa-sawit-meningkat.html>. Diakses pada 4 April 2015.
- Lu, K.M, Lee, W.J, Chen, W.H, Liu, S.h dan Lin, T.C, 2012, 'Torrefaction and Low Temperature Carbonization of Oil Palm Fiber and Eucalyptus in Nitrogen and Air Atmospheres'. *Bioresource Technology*, 123, hal.98-105.
- Montgomery, D.C, 2013, *Design and Analysis of Experiment*, 8th ed, John Wiley & Sons Inc, New Jersey.
- Myers, R.H, 2009, *Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiment*, Boston : Allyn dan Bacon, Inc.
- Poudel, J, Ohm, T, Idan Oh, S.C, 2015, 'A Study on Torrefaction of Food Waste', *Fuel*, 140, hal.275-281.
- Simanihuruk, K, Junjungan dan Tarigan, A, 2007, 'Pemanfaatan Pelepah Kelapa Sawit sebagai Pakan Basal Kambing Kacang Fase Pertumbuhan', *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner 2007*.
- Sulaiman, S, Adan Anas, M.I, 2012, 'Torrefaction of Oil Palm Fronds for Enhancement of Fuel Quality', *Trends Applied Sciences Research*, 73: hal.248-255.
- Uemura, Y, Omar, W.N, Tsutsui, T dan Yusup, Z, 2011, 'Torrefaction of Oil Palm Wastes', *Fuel*, 90, hal.2585-2591.