

# Optimasi Proses Karbonisasi Tandan Kosong Sawit Menggunakan *Response Surface Methodology*

Bayu Eldino Putra<sup>1</sup>, Zuchra Helwani<sup>1\*</sup>, Warman Fatra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Beldintra@gmail.com

\*Corresponding Author email : zuchra.helwani@lecturer.unri.ac.id

## ABSTRACT

*Empty fruit bunches (EFB) is a source of biomass which has not been utilized optimally yet. EFB can be used as source of solid fuel in the form of charcoal because of its high calorific value 18,200.75 kJ / kg. The calorific value can be increased by carbonization. Carbonization is a process to convert lignocellulose biomass into charcoal within temperature range 300 – 600 °C in a limited oxygen environment. The purpose of this research is to utilize EFB as a source of solid fuel, to study the effect of process condition such as temperature, holding time, and feed size towards the characteristics of resulted charcoal and to optimize carbonization process from the data obtained. Reactor used for EFB carbonization is a tube furnace at operating conditions of temperature (350, 400 and 450 °C), holding time (90, 120 and 150 minutes) and feed size (2, 4 and 6 cm). Responses were analyzed, namely the calorific value and volatile matter by using Response Surface Methodology (RSM). Optimum conditions obtained are temperature 450 °C, holding time 90 minutes and feed size 6 cm with calorific value 28,106 kJ/kg and volatile matter 13.47 %. The most influential process variable for calorific value is temperature. Meanwhile for volatile matter, every process variables give significant effect.*

**Keywords :** Carbonization, Calorific Value, Empty Fruit Bunch, Optimization, RSM

## 1. Pendahuluan

Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi yang kaya akan hasil sawit. Luas lahan kebun sawit di Provinsi Riau pada tahun 2015 tercatat sekitar 2,4 juta ha dengan produksi tandan buah segar (TBS) sekitar 7,44 juta ton pertahun (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015). Rata rata dalam 1 ton TBS, dihasilkan 230 – 250 kg limbah tandan kosong sawit (TKS), 130 – 150 kg serat, 60 – 65 kg cangkang dan 55 – 60 kg kernel (Nurdiawati dkk., 2015). Dari limbah yang dihasilkan, TKS masih belum dimanfaatkan secara optimal. Pengolahan TKS oleh pabrik sawit masih sangat terbatas, sebagian besar pabrik sawit di Indonesia masih membakar TKS dalam incenerator, meskipun cara ini dapat mengakibatkan polusi lingkungan. Alternatif pengolahan lainnya adalah dengan menimbun, atau diolah menjadi

kompos (Nur, 2014). TKS memiliki nilai kalor sebesar 18.400 kJ/kg (Ahmad dan Tsuyoshi, 2012), namun pemanfaatannya belum maksimal sebagai bahan bakar. Nilai kalor tersebut masih dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan aditif atau melakukan proses karbonisasi.

Karbonisasi merupakan salah satu metode untuk mengolah biomassa menjadi bahan bakar padat berupa arang, dengan cara memberikan oksigen terbatas dimana rentang temperaturnya antara 400 - 600 °C (Basu, 2013). Berdasarkan jumlah ketersediaan dan pemanfaatan yang belum maksimal, maka TKS memiliki potensi untuk dijadikan sumber energi alternatif sekunder bahan bakar padat dengan cara meningkatkan nilai kalor menggunakan proses karbonisasi.

Pembuatan arang dari biomassa telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti

Nuriana dkk., (2014), Satriyani dkk., (2013) dan Yemita dkk., (2016). Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa temperatur karbonisasi, waktu karbonisasi dan ukuran bahan baku mempengaruhi kualitas produk.

Nuriana dkk., (2014) melakukan proses karbonisasi limbah kulit durian dengan variasi temperatur yaitu (200, 250, 300, 350, 400, 450 dan 500) °C selama 1,5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang yang memiliki kualitas terbaik diperoleh pada temperatur proses 450 °C. Pada temperatur tersebut, arang kulit durian memiliki kadar karbon yang paling tinggi yaitu 77,87 %, kadar air 0,01 %, kadar abu 18,18 % dan zat mudah menguap 3,94 %. Dari penelitian ini didapat kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur proses karbonisasi, maka semakin bagus kualitas arang yang dihasilkan, meskipun terdapat batas temperatur maksimum ataupun kondisi temperatur terbaik untuk proses karbonisasi tersebut.

Satriyani dkk., (2013) melakukan proses karbonisasi menggunakan biomassa limbah sekam padi sebagai bahan baku. Proses karbonisasi dilakukan pada variasi temperatur (400, 500 dan 600) °C dengan waktu karbonisasi selama (30, 60, 90 dan 120) menit. Kualitas produk yang terbaik diperoleh pada temperatur karbonisasi 400 °C selama 120 menit dengan kadar karbon 41,3 %, kadar air 6,1 %, kadar abu 32,6 % dan kadar zat mudah menguap 20,5 %. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa semakin lama waktu proses karbonisasi maka kualitas produk yang dihasilkan akan semakin baik.

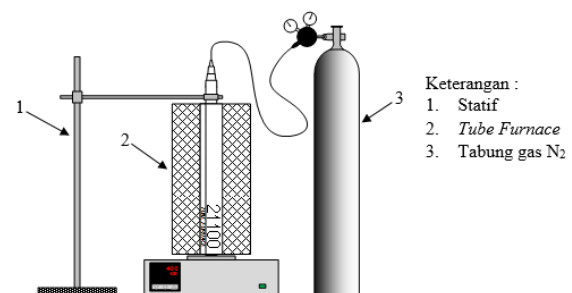
Sementara, Yemita dkk., (2016) melakukan penelitian karbonisasi pelepah sawit dengan variabel temperatur, waktu dan ukuran bahan baku. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur (400, 500 dan 600) °C dengan waktu karbonisasi (90, 120 dan 150) menit, dan variasi ukuran bahan baku (2, 4, dan 6) cm. Arang dengan nilai kalor tertinggi diperoleh pada temperatur karbonisasi 400 °C, ukuran bahan baku 2 cm dan waktu karbonisasi 150 menit yaitu

28.469 kJ/kg. Dari penelitian tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa interaksi antara variabel temperatur, waktu proses, dan ukuran bahan baku mempengaruhi kualitas produk arang yang dihasilkan.

Berdasarkan peninjauan pada penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini akan dilakukan proses karbonisasi menggunakan TKS sebagai bahan baku dengan memvariasikan temperatur karbonisasi, ukuran bahan baku dan waktu karbonisasi. Parameter yang diamati adalah nilai kalor dan kadar zat mudah menguap, dioptimasi menggunakan *Response Surface Methodology*.

## 2. Metodologi Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu TKS. Pasokan TKS didapatkan dari PTPN V Sei. Galuh karena ketersediaannya yang banyak dan pemanfaatannya belum maksimal. Peralatan yang digunakan terdiri dari unit pembuatan arang dan unit analisis. Unit pembuatan arang terdiri dari reaktor karbonisasi. Sedangkan unit analisis terdiri dari cawan porselin, oven, *bomb calorimeter*, furnace dan desikator. Reaktor yang digunakan adalah *tube furnace*. Unit pembuatan arang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaktor Karbonisasi

Prosedur dimulai dengan tahap persiapan bahan baku meliputi pembersihan, pengeringan, serta pengecilan ukuran TKS sesuai variabel yang digunakan (2 - 6) cm. Hal ini bertujuan agar proses karbonisasi dapat berlangsung sempurna dan tidak terganggu dengan kotoran yang ada. Selanjutnya ke tahap karbonisasi yang bertujuan untuk mengubah TKS menjadi arang. TKS dikarbonisasi di dalam *tube*

*furnace* pada temperatur (350, 400 dan 450) °C dengan variasi waktu (90, 120 dan 150) menit. Setelah tahap karbonisasi selesai, maka sampel disimpan dalam wadah kedap udara.

Produk karbonisasi yang dihasilkan selanjutnya akan diuji nilai kalor dan *proximate*. Nilai kalor merupakan suatu sifat bahan bakar yang menyatakan kandungan energi pada bahan bakar tersebut dengan menggunakan standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D-2015-96. Analisis *proximate* merupakan analisis yang digunakan untuk memperkirakan kinerja bahan bakar pada saat pemanasan dan pembakaran. Analisis *proximate* terdiri dari kadar abu (ASTM D-3174-12), kadar air (ASTM D-3173-11), kadar zat mudah menguap (ASTM D-3175-11) dan kadar karbon terikat (ASTM D-3172-07a).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik bahan baku TKS dan produk arang ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Karakteristik Bahan baku

Karakteristik	Satuan	Nilai
Nilai Kalor	kJ/kg	18.200,975
Kadar Air	% - b	9
Kadar Zat Mudah Menguap	% - b	70
Kadar Abu	% - b	2
Kadar Karbon	% - b	19

**Tabel 2.** Karakteristik Arang

Karakteristik	Satuan	Nilai
Nilai Kalor	kJ/kg	22152,016 – 28541,585
Kadar Air	% - b	3 - 8
Kadar Zat Mudah Menguap	% - b	9 - 19
Kadar Abu	% - b	8 - 20
Kadar Karbon	% - b	61 - 75

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa setelah proses karbonisasi dilakukan, terjadi peningkatan nilai kalor produk dari nilai kalor bahan baku sebesar 21,7 – 56,8 %. Kadar karbon mengalami peningkatan

sebesar 221,05 - 294,73 % setelah proses karbonisasi dilakukan. Nilai kalor relatif meningkat sesuai dengan kadar karbon. Semakin besar nilai kalor maka kadar karbon juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena saat karbon dibakar akan menghasilkan energi panas. Energi panas inilah yang disebut nilai kalor. Sehingga semakin kecil kadar karbon yang akan dibakar, tentunya energi panas yang dihasilkan akan semakin sedikit. Selain itu terdapat pengaruh dari kadar air dan abu pada arang. Jika masih terdapat kadar air pada arang saat proses pembakaran terjadi, energi yang dihasilkan akan terpakai untuk menguapkan air tersebut terlebih dahulu. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya nilai kalor yang akan didapatkan nanti. Sedangkan abu adalah sisa hasil pembakaran yang sudah tidak bisa terbakar dan menghasilkan nilai kalor lagi. Sehingga semakin besar kadar abu pada arang, artinya semakin besar kadar pada arang yang tidak terbakar. Hal ini juga akan menurunkan nilai kalor arang yang didapat (Basu, 2013).

Kadar air terjadi penurunan sebesar 11 – 67 %, sementara kadar zat mudah menguap juga menurun sebesar 72,86 – 87,14 %. Sedangkan kadar abu mengalami peningkatan sebesar 300 – 900 %. Kadar air mengalami penurunan diakibatkan menguapnya air dari biomassa diakibatkan pemanasan saat karbonisasi berlangsung. Sedangkan kadar zat mudah menguap mengalami penurunan dikarenakan pemanasan yang mengakibatkan selulosa, hemiselulosa dan lignin terdegradasi menghasilkan zat mudah menguap yang akhirnya akan terlepas dan menguap dan menyisakan arang saja (Basu, 2013). Kadar air dan kadar abu berbanding terbalik dengan nilai kalor. Semakin kecil kadar air dan kadar abu maka nilai kalor yang dihasilkan juga semakin besar (Surono, 2010). Meskipun sebagian zat mudah menguap (gas hidrokarbon seperti metana, dll) juga memiliki nilai kalor, namun karena wujudnya yang berupa gas, densitas energi dari zat mudah menguap lebih kecil

dibandingkan dengan karbon (Basu, 2013). Sehingga kadar karbon yang lebih tinggi yang lebih diinginkan untuk meningkatkan nilai kalor.

Setelah dilakukan uji model orde 1 diperoleh nilai *curvature* yang signifikan untuk nilai kalor, sehingga model yang tepat digunakan untuk respon nilai kalor adalah model orde 2. Sedangkan untuk kadar zat mudah menguap model yang cocok digunakan yaitu orde 1.

Dari program RSM *Design Expert 7.0.0* didapatkan persamaan yang menggambarkan pengaruh variabel terhadap respon.

$$Y_1 = 24.179,12 + 499,54A - 131,09B + 169,28C - 1.515,92AB - 374,87AC - 1.026,87BC + 14,45A^2 + 748,99B^2 + 195,75C^2 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$Y_2 = 14,9 - 2,94A - 0,91B + 0,61C \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan :

- $Y_1$  = Nilai Kalor (kJ/kg)
- $Y_2$  = Kadar Zat Mudah Menguap (%)
- A = Temperatur (°C)
- B = Waktu (menit)
- C = Ukuran Bahan Baku (cm)

Kemudian akan dilakukan optimasi kondisi proses karbonisasi tandan kosong sawit dengan sasaran yaitu mendapatkan nilai kalor yang optimum. Kondisi optimum yang didapatkan yaitu pada temperatur 450 °C, waktu 90 menit dan ukuran bahan baku 6 cm.

#### 4. Kesimpulan

Temperatur merupakan variabel tunggal yang memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kalor, sedangkan semua interaksi antar variabel memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kalor. Semua variabel tunggal memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar zat mudah menguap. Hasil optimum diperoleh pada kondisi proses temperatur 450 °C,

waktu 90 menit dan ukuran bahan baku 6 cm.

#### Daftar Pustaka

Ahmad T. Tanjung dan Tsuyoshi Hirajima. 2012. *Efficacy of Hydrothermal Treatment for Production of Solid Fuel from Oil Palm Wastes*. InTech

American Society for Testing and Materials (ASTM) D-2015. 1996. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D-3172. 2007. Standard Practice for proximate Analysis of Coal and Coke. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D-3173. 2011. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D-3174. 2012. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D-3175. 2011. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM International. Philadelphia, USA.

Basu, P. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction* (2nd ed). New York: Elsevier Inc.

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. *Statistika Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2013 – 2015*. Kementerian Pertanian. Jakarta.

Montgomery, C.D. 2013. *Design and Analysis of Experiments 8th Edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Nur, M.S. 2014. *Karakteristik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioenergi*. PT Insan Fajar Mandiri Nusantara. Bogor.

- Nurdiawati, A., S. Novianti, I. N. Zaini, B. Nakhshinieva, H. Sumida, F. Takahashi, dan K. Yoshikawa. 2015. Evaluation of Hydrothermal Treatment of Empty Fruit Bunch for Solid Fuel and Liquid Organic Fertilizer Co-Production. *Energy Procedia* 79 (2015), p. 226-232.
- Nuriana W., Nurfa A., Martana. 2014. Synthesis Preliminary Studies Durian Peel Bio Briquettes as an Alternative Fuels. *Energy Procedia* 47 (2014) p. 295 – 302.
- Satriyani, Melvha dan Rosdanelli. 2013. Penentuan Kondisi Optimum Temperatur dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 02 (01). Medan.
- Yemita, S., Z. Helwani., dan W. Fatra. 2016. Karbonisasi Pelepah Sawit. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* Vol 3(1) Februari 2016 : 1-6.