

KARBONISASI PELEPAH SAWIT

Sylvia Yemita¹, Zuchra Helwani², Warman Fatra³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ²Dosen Jurusan Teknik Kimia,

³Dosen Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

¹E-mail: yemita.sylvia@yahoo.com

ABSTRACT

Palm fronds only used as a source of raw materials for animal feed, compost and organic fertilizer in the garden area so far. The heating value of palm fronds is 17.200 kJ/kg. The heating value can be improved by conducting carbonization process. Carbonization is a method to process biomass into solid fuel without oxygen where the temperature range is between 400-600 °C. The aim of this study is to produce a solid fuel from palm fronds by using carbonization process, to know the characteristics of products and to see the influence of reaction temperature, carbonization time and particle size of product towards heating value and volatile matter content. Carbonization temperature used were 400, 500, 600°C, carbonization time used were 90, 120, 150 minutes, and particle size used were 2, 4, 6 cm. Processing data in this study was conducted by Response Surface Methodology (RSM) by using Design Expert 7.0.0 program which is experimental design determined by Central Composite Design (CCD). The highest result of heating value was 28.469 kJ/kg at 400°C for 150 minutes and particle size 2 cm. The highest result of volatile matter content was 21,14 %-wt at 670°C for 120 minutes and particle size 4 cm. Significant process condition affecting the heating value was temperature and carbonization time. However, the condition affecting the volatile matter content were carbonization temperature, carbonization time and particle size.

Keywords: Carbonization, Heating Value, Palm Frond, Volatile Matter.

1. Pendahuluan

Provinsi Riau memiliki area perkebunan sawit terluas di Indonesia yaitu ± 2,3 juta hektar, dimana satu hektar sawit diperkirakan dapat menghasilkan 6.400 – 7.500 pelepah per tahun [Kiston dkk., 2008 dan Ditjen Perkebunan, 2014]. Jumlah pelepah sawit yang dipotong dapat mencapai 40–50 pelepah/pohon/tahun dimana berat pelepah keringnya sebesar 4,5 kg per pelepah [Kiston dkk., 2008]. Pelepah sawit selama ini hanya dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku untuk pakan ternak, pupuk kompos dan pupuk organik di area kebun [Hidayanto, 2013]. Pelepah sawit memiliki nilai kalor sebesar 17.200 kJ/kg [Chavalparit, dkk., 2013], namun pemanfaatannya belum maksimal sebagai bahan baku bahan bakar padat. 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 dengan memberikan oksigen terbatas dimana rentang temperaturnya antara 400-600°C [Basu, 2013]. Berdasarkan jumlah ketersediaan dan pemanfaatan yang belum maksimal, maka pelepah sawit memiliki potensi untuk dijadikan sumber energi alternatif sekunder bahan bakar padat dengan cara meningkatkan nilai kalor menggunakan proses karbonisasi.

Pembuatan bahan bakar padat dari biomassa telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Satriyani dkk., [2013], Purwanto dkk., [2011] dan Katyal dkk., [2003]. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disampaikan bahwa temperatur karbonisasi,

lamanya proses karbonisasi dan ukuran partikel mempengaruhi kualitas produk diantaranya nilai kalor, kadar zat mudah menguap, kadar karbon, kadar air dan kadar abu.

Satriyani dkk., [2013] melakukan proses karbonisasi sekam padi dengan variasi temperatur yaitu (400, 500 dan 600)^oC dan waktu selama (30, 60, 90 dan 120) menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang yang memiliki kualitas terbaik dilakukan pada temperatur 400^oC selama 120 menit. Pada temperatur dan waktu karbonisasi tersebut *solid fuel* dari sekam padi memiliki kadar karbon yang paling tinggi yaitu 41,3%, kadar air 6,1%, kadar abu 32,6% dan zat mudah menguap 20,5%.

Purwanto dkk., [2011] melakukan penelitian menggunakan biomassa limbah tempurung sawit sebagai bahan baku. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur (400, 500 dan 600)^oC dengan waktu karbonisasi selama (2, 3 dan 4) jam. Kualitas produk yang terbaik dihasilkan pada temperatur karbonisasi 600^oC selama 2 jam dengan hasil nilai kalor 7.177,87 kal/g, kadar karbon 70,93%, kadar air 0,29%, kadar abu 13,49% dan kadar zat mudah menguap 20,87%.

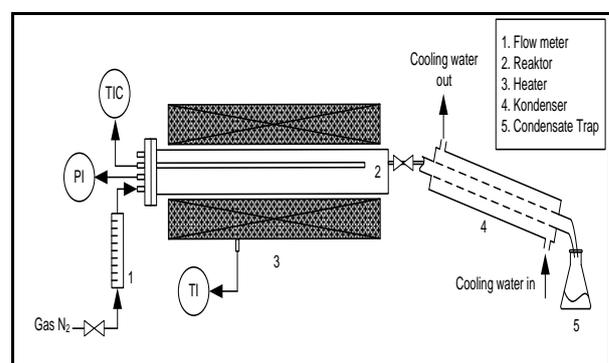
Sementara, Katyal dkk., [2003] melakukan penelitian karbonisasi ampas tebu dengan variabel temperatur dan ukuran partikel. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur (250-700)^oC dengan variasi ukuran partikel 0,6-4,75 mm. Kualitas yang terbaik dihasilkan pada temperatur karbonisasi 500^oC dengan ukuran partikel 0,6-1,4 mm yaitu kadar karbon 65,95%, kadar abu 18,10% dan kadar zat mudah menguap 15,95%.

Berdasarkan peninjauan pada penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini bahan baku pelepah sawit yang akan digunakan melalui proses karbonisasi dengan memvariasikan temperatur karbonisasi, ukuran partikel dan waktu karbonisasi terhadap nilai kalor dan kadar zat mudah menguap menggunakan analisis *Response Surface Methodology – Central Composite Design* (RSM – CCD).

2. Metodologi Penelitian

2.1 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pelepah sawit. Peralatan yang digunakan terdiri dari unit pembuatan dan unit analisis. Unit pembuatan terdiri dari reaktor karbonisasi dan neraca analitik. Sedangkan unit analisis terdiri dari cawan porselin, *bomb calorimeter*, *furnace* dan desikator. Reaktor yang digunakan merupakan reaktor *fixed bed* horizontal dengan panjang 60 cm dan diameter 6 cm. Peralatan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaktor Karbonisasi

2.2 Prosedur Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan maka penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap meliputi persiapan bahan baku, proses karbonisasi, pengujian hasil dan pengolahan data.

Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahapan ini meliputi pembersihan, pengecilan ukuran, dan pengeringan pelepah sawit. Untuk mempermudah pengeringan, pelepah sawit terlebih dahulu dipotong-potong kecil sesuai variabel yang digunakan dan dibersihkan dari kotoran. Hal ini bertujuan agar proses karbonisasi dapat berlangsung sempurna dan tidak terganggu dengan kotoran yang ada.

Tahap Karbonisasi

Tahap karbonisasi bertujuan untuk mengubah pelepah sawit menjadi arang agar mudah untuk dipress pada tahap pembriketan. Pelepah sawit dikarbonisasi di dalam reaktor dengan temperatur dan waktu divariasikan.

Setelah tahap karbonisasi selesai, maka produk disimpan dalam wadah kedap udara.

Pengujian

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].

2.3. Variabel Penelitian

Variabel operasi proses terdiri dari variabel tetap dan variabel tidak tetap. Variabel tetap berupa massa biomassa awal 50 gram dan laju alir nitrogen 100 mL/menit. Variabel tidak tetap yang akan digunakan adalah temperatur karbonisasi, waktu karbonisasi dan ukuran partikel. Variasi temperatur karbonisasi dinyatakan dalam satuan °C (400, 500 dan 600), variasi lamanya karbonisasi dinyatakan dalam satuan menit (90, 120 dan 150), serta variasi ukuran partikel dinyatakan dalam satuan cm (2, 4 dan 6).

2.3. Rancangan Penelitian

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan *Response Surface Methodology* (RSM). RSM merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi respon dengan tujuan akhir untuk mengoptimalkan respon [Nuryanti dan Salimy, 2008]. Jumlah tempuhan percobaan ditentukan dengan *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari *factorial design*, *star point* dan *central point*. *Factorial design* (n_f) didapat dengan persamaan 2^k faktorial, k merupakan jumlah variabel berubah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Bahan Baku

Bahan baku dapat dikarakterisasi melalui pengujian nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap dan kadar karbon. Karakteristik pelepah sawit ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Pelepah Sawit

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Nilai Kalor	kJ/kg	18.169
2	Kadar Air	%-b	9,89
3	Kadar Zat Mudah Menguap	%-b	87,56
4	Kadar Abu	%-b	0,93
5	Kadar Karbon	%-b	1,69

3.2. Proses Karbonisasi

Bahan baku pelepah sawit yang telah dipersiapkan selanjutnya dikarbonisasi menggunakan reaktor dan dialiri gas nitrogen dengan laju alir 100 mL/menit bertujuan untuk menghilangkan oksigen yang terdapat saat proses karbonisasi dan melepaskan zat mudah menguap yang terkandung dalam pelepah sawit tersebut, sedangkan karbon tetap tinggal di dalamnya.

Proses karbonisasi diperlukan untuk menghasilkan nilai kalor dan kadar karbon yang tinggi serta akan mengurangi kadar air dan kadar zat mudah menguap di dalam bahan baku. Zat mudah menguap terdiri dari unsur hidrogen (H), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan karbon monoksida (CO) [Sudiro dan Suroto, 2014]. Karakteristik produk karbonisasi akan dianalisis menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Karakteristik produk karbonisasi ditampilkan pada Tabel 2.

3.3. Desain dan Evaluasi Model

Desain penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap nilai kalor dan kadar zat mudah menguap dari produk karbonisasi. Data hasil percobaan dianalisis menggunakan rancangan

percobaan (*design experiment*) metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dan diolah dengan menggunakan program *Design Expert 7.0.0*. Program akan mengeluarkan model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variasi kondisi proses terhadap nilai kalor dan kadar zat mudah menguap dari produk karbonisasi.

Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien-koefisien model yaitu temperatur karbonisasi, waktu karbonisasi dan ukuran partikel terhadap respon berupa nilai kalor dan kadar zat mudah menguap.

Tabel 2. Karakteristik Produk Karbonisasi

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Nilai Kalor	kJ/kg	23.293 – 28.469
2	Kadar Air	%-b	1,82 – 4,48
3	Kadar Zat Mudah Menguap	%-b	21,14 – 35,06
4	Kadar Abu	%-b	3 – 19
5	Kadar Karbon	%-b	56,8 – 66

Pada model orde 1, perlu dilakukan uji kecocokan model untuk melihat tepat atau tidaknya dugaan model yang dilakukan. Apabila model tidak linier atau terdapat pola lengkung (*curvature*), maka model orde 1 tidak cocok digunakan dan digunakan model orde 2. Model orde dua perlu dilakukan uji ketidakcocokan model (*Lack of Fit Test*) [Montgomery, 2001].

Percobaan model orde 2 digunakan untuk memperkirakan kelengkungan (*curvature*) dari respon. Tempuhan rancangan percobaan orde dua merupakan pengembangan model orde satu dengan penambahan tempuhan kuadratik dari masing-masing variabel dan interaksi antara variabel tersebut.

3.4 Nilai Kalor

Data nilai kalor selanjutnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 7.0.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan persamaan 3.1.

$$Y_1 = 25.485,97 - 231,87 X_1 + 234,88 X_2 + 71,84 X_3 - 1272,86 X_1X_2 + 226,96 X_1X_3 - 911,73 X_2X_3 - 197,86 X_1^2 - 118,22 X_2^2 + 143,61 X_3^2 \quad (3.1)$$

Keterangan : Y_1 = Nilai Kalor (kJ/kg)

X_1 = Temperatur ($^{\circ}$ C)

X_2 = Waktu (menit)

X_3 = Ukuran partikel (cm)

3.4.1 Pengaruh Kondisi Proses terhadap Nilai Kalor

Kondisi proses yaitu temperatur karbonisasi (X_1), waktu karbonisasi (X_2) dan ukuran partikel (X_3). Dari hasil pengujian *P-value*, tidak semua kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kalor. Pengaruh X_1 , X_2 dan X_3 ditampilkan pada Gambar 4.3.

Pada penelitian ini, bahan baku pelepah sawit memiliki nilai kalor sebesar 18.169 kJ/kg. Nilai kalor yang dihasilkan dari proses karbonisasi rata-rata sebesar 23.293 – 28.469 kJ/kg. Semakin tinggi temperatur karbonisasi maka akan menurunkan nilai kalor yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena proses karbonisasi cenderung merusak dinding-dinding pori karbon sehingga karbon yang terbentuk semakin sedikit [Muharyani dkk., 2012]. Sementara itu pada waktu karbonisasi, semakin lama karbonisasi maka nilai kalor yang diperoleh akan semakin tinggi.

Ukuran partikel tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Hal ini telah dijelaskan oleh Basu [2013] bahwa ukuran partikel tidak terlalu berpengaruh signifikan jika dibandingkan dengan temperatur dan waktu karbonisasi.

3.4.2 Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap Nilai Kalor

Pengaruh tersebut dapat dilihat dari pengujian *P-value*. Berdasarkan pengujian *P-value* semua interaksi kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan. Interaksi antara temperatur dan waktu karbonisasi memberikan pengaruh paling besar dibandingkan dengan interaksi lainnya.

Nilai kalor tertinggi didapatkan sebesar 28.469 kJ/kg pada temperatur 400 °C dan waktu karbonisasi 150 menit dengan ukuran partikel sebesar 2 cm. Sedangkan nilai kalor terendah adalah 23.293 kJ/kg pada temperatur 400 °C dengan waktu karbonisasi 90 menit dan ukuran partikel sebesar 2 cm.

Pengaruh interaksi antara temperatur karbonisasi dan waktu karbonisasi terhadap nilai kalor. Pada ukuran partikel yang sama, semakin tinggi temperatur dan waktu karbonisasi maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin rendah. Sebaliknya, semakin rendah temperatur dan semakin tinggi waktu karbonisasi maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena proses karbonisasi cenderung merusak dinding-dinding pori karbon sehingga karbon yang terbentuk semakin sedikit [Muharyani dkk., 2012].

Pengaruh interaksi antara temperatur karbonisasi dan ukuran partikel. Pada waktu karbonisasi 90 dan 120 menit, semakin tinggi temperatur dan semakin besar ukuran partikel maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin tinggi. Sementara itu, pada waktu karbonisasi 150 menit, semakin tinggi temperatur dan semakin besar ukuran partikel maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin rendah. Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai kalor dipengaruhi oleh temperatur dan ukuran partikel. Namun, interaksi antara temperatur dan ukuran partikel memberikan pengaruh yang kurang signifikan jika dibandingkan dengan interaksi antara temperatur dan waktu karbonisasi. Hal ini juga dibuktikan berdasarkan nilai *P-Value*

bahwa interaksi antara temperatur dan ukuran partikel diperoleh lebih besar daripada temperatur dan waktu karbonisasi.

Sementara itu, pengaruh interaksi antara waktu karbonisasi dan ukuran partikel. Nilai kalor dipengaruhi oleh variabel waktu karbonisasi dan ukuran partikel. Semakin lama karbonisasi dan semakin besar ukuran partikel maka akan semakin rendah nilai kalor yang diperoleh. Hal ini disebabkan waktu karbonisasi telah mencapai batas maksimum. Bila waktu karbonisasi diperpanjang maka prosesnya akan semakin sempurna sehingga arang yang dihasilkan akan semakin menurun tetapi gas akan semakin meningkat [Purwanto, 2011].

4. Kesimpulan

Nilai kalor tertinggi produk diperoleh pada kondisi proses temperatur karbonisasi 400 °C, waktu karbonisasi 150 menit dan ukuran partikel sebesar 2 cm yaitu 28.469 kJ/kg. Kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kalor adalah temperatur dan waktu karbonisasi. Semakin tinggi temperatur karbonisasi maka akan menurunkan nilai kalor yang dihasilkan. Sementara itu, ukuran partikel tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kalor yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- 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.
- Chavalparit, O., M. Ongwandee dan K. Trangkaprasith. 2013. Production of Pelletized Fuel from Biodiesel-Production: Oil Palm Fronds and Crude Glycerin. *Engineering Journal*, Vol. 17 (4), p. 61-71.
- 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, p. 84-90.
- Katyal, S., K. Thambimuthu dan M. Valix. 2003. Carbonisation of Bagasse in a Fixed Bed reactor: Influence of Process Variables on Char Yield and Characteristics. Department Chemical Engineering, The University of Sydney, NSW, Australia, *Renewable Energy*, Vol. 28, p. 713-725.
- Montgomery, C.D. 2001. Design and Analysis of Experiments 5th Edition. *John Wiley & Sons, Inc.* New York.
- Muharyani, R., D. Pratiwi dan A. Faisol. 2012. Pengaruh Suhu serta Komposisi Campuran arang Jerami Padi dan Batubara Subbituminus pada Pembuatan Briket Bioarang. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 18 (01), p. 43-57.
- Nuryanti dan D.H. Salimy. 2008. Metode Permukaan Respon dan Aplikasinya pada Optimasi Eksperimen Kimia. *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir*. 373 – 391.
- Purwanto, D. 2011. Arang dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 29 (01), p. 57-66.
- Satriyani, Melvha dan Rosdanelli. 2013. Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 02 (01). Medan.
- Sudiro dan Suroto. 2014. Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Briket yang Terbuat dari Batubara dan Jerami Padi Terhadap Karakteristik Pembakaran. *Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta*, Vol. 02 (02), ISSN:2355-5009.