

# Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bio-oil sebagai Energi Alternatif

*by* Hesti Wijayanti

---

**Submission date:** 08-Jan-2021 03:56PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1484485106

**File name:** 67-285-2-PB.pdf (267.22K)

**Word count:** 3079

**Character count:** 17652

# Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bio-oil sebagai Energi Alternatif

Hesti Wijayanti<sup>1</sup>, Desy Ratnasari<sup>2</sup>, Rahman Hakim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat

✉ hesti.wijayanti@ulm.ac.id

Sekam padi adalah limbah penggilingan padi yang merupakan komoditas penting dari lahan basah. Salah satu cara untuk memberikan nilai tambah dari limbah ini adalah dengan proses pirolisis untuk menghasilkan bio-oil. Untuk menghasilkan bio-oil melalui pirolisis, sekam padi dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari suhu optimum pada proses pirolisis sekam padi dan menentukan kinetika reaksinya. Proses pirolisis dilakukan dengan menggunakan suhu 450, 500 dan 550°C. Selanjutnya dilakukan perhitungan kinetika reaksinya dengan metode single step. Suhu optimum pirolisis sekam padi adalah pada suhu 550°C dengan yield sebesar 3,27% (oil), 26,16% (water), 12,55% (gas) dan 58,02% (char). Nilai kinetika ( $k$ ) yang didapatkan sebesar  $0,0499 \exp(-0,3899/RT)$ .

**Kata kunci:** sekam padi, bio-oil, pirolisis, suhu, kinetika.

Diajukan: 31 Mei 2020

Direvisi: 23 Juni 2020

Diterima: 24 September 2020

Dipublikasikan online: 25 September 2020

## Pendahuluan

Konsumsi energi semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan semakin berkembangnya sektor industri, khususnya di negara-negara berkembang. Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil, banyak penelitian yang dilakukan untuk memanfaatkan energi alternatif yang terbarukan sebagai sumber energi. Salah satu sumber energi terbarukan yang banyak dilakukan **g**manfaatkan adalah pemanfaatan biomassa. Biomassa secara luas dianggap sebagai energi potensial dan **terbarukan yang besar** untuk masa depan.

**8** Selama 2 dekade terakhir, perhatian khusus telah diberikan pada konversi residu biomassa dan bahan **terbarukan menjadi bio-oil** (Sukarta and Ayuni, 2016). Bio-oil adalah produk cair hasil kondensasi gas dari dekomposisi biomassa pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen (Braga et al., 2014). Selain itu, secara siklus menghasilkan zero nett emisi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan tidak mengakibatkan efek rumah kaca (Ji-lu, 2007). Namun sejauh ini, pemanfaatan secara komersial masih mengalami kendala dan kalah bersaing dengan bahan bakar fosil yang sudah sejak lama digunakan.

Sebagai negara agraris yang penduduknya mengkonsumsi beras sebagai makanan pokok, produksi padi di Indonesia **15**eningkat seiring dengan pertambahan penduduk. **Produksi padi tahun 2015 sebanyak 75,36 juta ton gabah kering giling (BPS 2016) dan pada tahun 2016 sebanyak 79,14 juta ton gabah kering giling (BPS 2017).** Total produksi padi di Kalimantan selatan pada tahun 2015 sebanyak 2,14

juta ton dengan kenaikan sebanyak 45 ribu ton (2,18%). Pada umumnya, limbah berupa sekam padi mencapai 23% dari total padi yang diolah (Prasara and Grant, 2008).

Salah satu cara yang digunakan untuk konversi biomassa ke bahan bakar cair adalah melalui pirolisis. Pirolisis biomassa adalah proses dekomposisi komponen organik dalam biomassa dengan pemanasan (dekomposisi termal) pada kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan produk berupa char (padat), bio-oil (cair) dan gas (Yaman, 2004). Yield dan sifat-sifat (properties) produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh kondisi operasinya, seperti temperatur, heating rate, ukuran partikel biomassa, waktu tinggal uap panas, katalis dan jenis biomassa (Li et al., 2004). Putun et al. (2008) menemukan bahwa yield dan komposisi kimia produk sangat dipengaruhi oleh temperatur, konfigurasi reaktor, jenis biomassa, katalis dan heating rate. Melalui penelitian ini, reaksi pirolisis sekam padi dilakukan dengan variasi suhu sehingga dapat diperoleh kondisi operasi optimumnya dan data kinetika yang dibutuhkan dalam perancangan alat pirolisis sekam padi pada kondisi operasi tersebut.

## Metode

### Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah rangkaian reaktor pirolisis, oven, gelas beker 500 mL, gelas ukur (1000 mL, 500 mL, dan 250 mL), sudip, corong, neraca analitik, shieve/ayakan, loyang, gelas arloji, separation funnel dan desikator. Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sekam padi yang berasal dari penggilingan padi di daerah Tanjung Selor, Kalimantan Selatan dan gas nitrogen dengan kemurnian 99%.

Cara mensitasi artikel ini:

Wijayanti, H., Ratnasari, D., Hakim, R. (2020) Studi kinetika pirolisis sekam padi untuk menghasilkan bio-oil sebagai energi alternatif. *Buletin Profesi Insinyur* 3(2) 083-088

### Persiapan Bahan Baku

Sampel sekam padi dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan sampel berukuran 0,25-1 mm (-60 +18 Mesh), lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C selama 180 menit. Setelah itu, sekam disimpan dalam desikator. Analisa proksimat dan ultimat pada Sekam padi, dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik Sekam Padi

Analisa		Nilai (wt %)
Analisis proksimat (basis kering, % berat)	Volatile matter	76,36
	Kadar abu	15,35
	Karbon tetap	15,35
Analisis ultimate (kering dan bebas abu, % berat)	Karbon	34,40
	Hidrogen	5,07
	Nitrogen	0,35
	Oksigen	37,28
	Sulfur	0,04
	Abu	22,86

### Reaksi Pirolisis

Pirolisis dilakukan dengan memasukkan sampel sekam padi sebanyak 500 gram sampel ke dalam reaktor pirolisis yang dilengkapi dengan pipa yang terhubung dengan kondensator dan wadah penampung produk cair hasil reaksi pirolisis. Reaksi pirolisis dijalankan pada temperatur 450°C, 500°C dan 550°C selama 1 jam sejak suhu tersebut tercapai. Setelah reaksi selesai, reaktor didinginkan. Yield produk cair yang paling besar digunakan untuk menentukan suhu optimum pirolisis sekam padi.

### Model Kinetika Reaksi

Pada model ini digunakan mekanisme reaksi kimia tunggal yang paling sederhana, yaitu single step method. Mekanisme reaksi tunggal dianggap sudah dapat mewakili mekanisme pirolisis sesuai persamaan reaksi kimia pada umumnya, karena hanya terjadi pemutusan rantai polimer akibat adanya panas. Model ini pernah digunakan dalam mempelajari kinetika beberapa proses pirolisis, di antaranya Fadillah (2005) yang menunjukkan bahwa kompetisi pembentukan produk tidak diwakili dari nilai konstanta laju reaksi. Namun kompetisi pembentukan produk-produk secara implisit tercakup ke dalam koefisien yield. Koefisien yield produk pirolisis menunjukkan banyaknya produk minyak (bio-oil), padatan (char) dan gas yang terbentuk dengan basis 1 gram bahan baku. Kelebihan model ini adalah dapat digunakan untuk perhitungan-perhitungan cepat dan keterbatasan data yang diukur di dalam penelitian. Model ini menganggap bahwa produk minyak (bio-oil), padatan (char) dan gas terjadi secara bersamaan dari perengkahan sekam padi.

Sekam padi  $\rightarrow$  a Minyak + b Padatan + c Gas  
 Dengan Neraca Massa secara umum:  
 $R_{input} - R_{output} - R_{reaction} = R_{accumulation}$  (1)  
 Dimana k adalah kecepatan reaksi *overall*, sedangkan  $R_{input}$ ,  $R_{output}$ ,  $R_{reaction}$  dan  $R_{accumulation}$  adalah kecepatan aliran massa masuk, keluar, bereaksi dan terakumulasi. Selanjutnya dibuat neraca massa sekam padi dan produk hasil pirolisisnya yaitu minyak, padatan dan gas.

Neraca Massa Sekam Padi:

$$0 - 0 - k \cdot m_p = \frac{dm_p}{dt}$$

$$\frac{dm_p}{dt} = -k \cdot m_p \quad (2)$$

Neraca Massa Minyak (l):

$$0 - 0 + a \cdot k \cdot m_p = \frac{dm_l}{dt}$$

$$\frac{dm_l}{dt} = a \cdot k \cdot m_p \quad (3)$$

Neraca Massa Padatan (s):

$$0 - 0 + b \cdot k \cdot m_p = \frac{dm_s}{dt}$$

$$\frac{dm_s}{dt} = b \cdot k \cdot m_p \quad (4)$$

Neraca Massa Gas (g):

$$0 - 0 + c \cdot k \cdot m_p = \frac{dm_g}{dt}$$

$$\frac{dm_g}{dt} = c \cdot k \cdot m_p \quad (5)$$

Dimana a, b dan c adalah koefisien *yield* minyak, padatan, dan gas terhadap berat sekam padi mula-mula. Dari persamaan-persamaan di atas akan diperoleh massa sekam padi ( $m_p$ ), massa minyak (ml), massa padatan ( $m_s$ ) dan massa gas ( $m_g$ ) pada berbagai waktu. *Initial condition* untuk persamaan-persamaan di atas adalah:  $t = 0$ ;  $m_p = m_{p0} = 500$ ;  $m_l = m_{l0} = 0$ ;  $m_s = m_{s0} = 0$ ;  $m_g = m_{g0} = 0$ . Harga-harga k, a, b dan c dievaluasi dengan mencoba-coba hingga diperoleh nilai Sum of Square Error (SSE) minimum yang dinyatakan sebagai berikut:

$$SSE = \sum (m_{sim} - m_{data})^2 \quad (6)$$

Untuk memvalidasi harga-harga yang diperoleh, digunakan persamaan berikut yang kemudian dirata-ratakan.

$$\% \text{ Ralat} = \sum \left| \frac{m_{data} - m_{hitung}}{m_{data}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

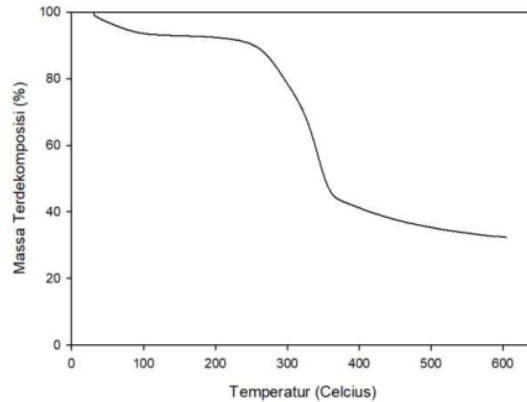
### Hasil Kerja

#### Thermogravimetry Analisis Sekam Padi

Hasil analisa thermogravimetry sekam padi ditunjukkan dalam Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa dekomposisi sekam padi terjadi dalam tiga tahapan. Tahap kesatu mulai temperatur ruang sampai sekitar 200°C (penguapan air), tahap kedua berkisar antara 200-380°C (devolatilisasi biomassa) dan tahapan terakhir berlangsung dari 380-600°C (karbonisasi). Hasil ini sejalan dengan hasil yang diperoleh Zhang et al. (2016).

#### Pengaruh suhu dan Perolehan Yield

Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis adalah padatan (char), cair (bio-oil) dan gas. Gas yang dihasilkan dari proses pirolisis selanjutnya dikondensasikan melalui kondensator sehingga diperoleh tar berwujud cair (bio-oil). Sedangkan gas yang tidak terkondensasi akan tetap berbentuk dalam wujud gas.



Gambar 1. Analisa TGA Sekam Padi

Diantara produk yang dihasilkan pada proses pirolisis, bio-oil merupakan produk utama yang diinginkan. Cairan (bio-oil) yang dihasilkan terdiri dari dua fase yaitu minyak (oil) dan air (water).

Hasil percobaan pengaruh suhu dan perolehan yield dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, banyaknya yield yang terbentuk pada suhu 550 °C sebesar 3,27% (oil), 26,16% (water), 12,55% (gas) dan 58,02 (char). Dari tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka jumlah oil yang dihasilkan akan semakin besar juga. Adapun hasil padatan (char) yang dihasilkan berkurang dengan meningkatnya suhu pirolisis, hal tersebut disebabkan oleh dekomposisi sekam padi yang terjadi semakin besar pada suhu yang tinggi (Williams and Nugranad, 2000). Dari hasil percobaan tersebut diperoleh suhu optimum untuk proses pirolisis sekam padi untuk menghasilkan yield oil paling banyak adalah pada suhu 550°C.

#### Pengaruh Suhu Terhadap Laju Pirolisis

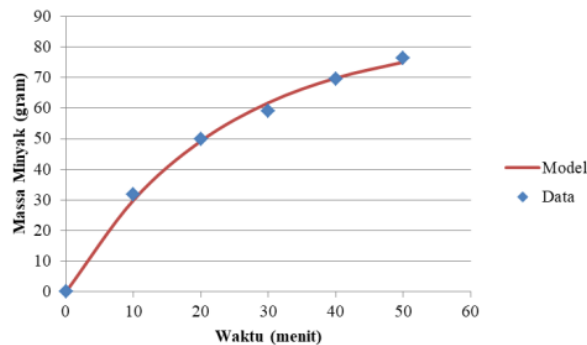
Percobaan ini digunakan mekanisme reaksi tunggal untuk mempelajari pengaruh suhu terhadap kinetika

reaksi pirolisis sekam padi. Mekanisme reaksi tunggal merupakan reaksi dimana sekam akan terdekomposisi menjadi 3 produk yaitu minyak (bio-oil), padatan (char) dan gas dengan laju reaksi yang sama.

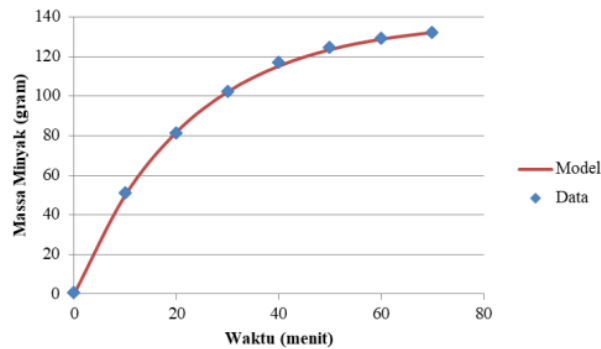
Tabel 2. Produksi Yield dari Proses Pirolisis Sekam Padi (wt%)

Temperatur Reaktor (°C)	Oil	Water	Gas	Char
450	0.66	18.19	21.01	60.14
500	1.33	29.68	8.99	60
550	3.27	26.16	12.55	58.02

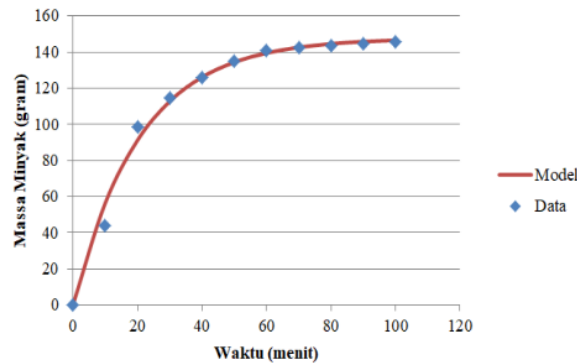
Referensi data acuan adalah data primer yang diperoleh dari percobaan di laboratorium. Data yang didapat berupa massa cairan (minyak) yang diambil secara berkala selama proses pirolisis berlangsung. Berikut hubungan massa minyak yang diperoleh dari data laboratorium pada berbagai waktu dibandingkan dengan massa minyak hasil perhitungan (simulasi) yang dilakukan pada suhu 450°C, 500°C dan 550°C ditunjukkan oleh Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar 2. Perbandingan Massa Minyak Data dan Hasil Perhitungan pada Suhu 450°C.



Gambar 3. Perbandingan Massa Minyak Data dan Hasil Perhitungan pada Suhu 500°C.



Gambar 4. Perbandingan Massa Minyak Data dan Hasil Perhitungan pada Suhu 550°C.

Dari Gambar 2, 3 dan 4 dapat dilihat bahwa data simulasi hampir mendekati data percobaan. Hal ini juga didukung data ralat rerata di Tabel 3 dengan menggunakan persamaan (7) yang berkisar antara 0,645-3,725%. Berikut perbandingan data massa minyak yang didapat pada percobaan di laboratorium dengan massa minyak hasil perhitungan (simulasi) dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 diketahui bahwa ralat antara data massa minyak hasil percobaan dengan massa minyak hasil perhitungan (simulasi) sebesar < 4%, sehingga dapat disimpulkan bahwa model kinetika reaksi mekanisme reaksi tunggal dianggap mampu menggambarkan mekanisme reaksi pirolisis sekam padi untuk keadaan proses dan alat pada percobaan ini (Zhang, et al., 2016)

Konstanta laju reaksi diasumsikan mengikuti Persamaan Arrhenius, yaitu:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \quad (8)$$

Parameter kinetika reaksi yang terlibat yaitu pre-exponential factor (A) dan energi aktivasi (E) diperoleh dari linearisasi Persamaan Arrhenius, yaitu:

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (9)$$

Misal:

$$y = a + bx \quad (10)$$

Maka:

$$y = \ln k ; x = \frac{1}{T} ; a = \ln A ; \text{ dan } b = -\frac{E}{RT}$$

Berdasarkan data hasil percobaan didapat grafik hubungan antara  $\ln k$  dengan  $1/T$ , dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai A diperoleh dari intercept yaitu sebesar 0,04994 menit<sup>-1</sup> dan nilai E didapat dari slope yaitu sebesar 0,38995 kJ/mol, sehingga nilai konstanta laju reaksi (k) dapat dirumuskan  $k = 0,04994 \cdot \exp(-0,38995/R.T)$  (11) dengan T dalam Kelvin.

#### Pengaruh Suhu Terhadap Sifat Fisik dan Nilai Kalor

Analisis sifat fisik dilakukan untuk mengetahui nilai pH, viskositas serta densitas pada produk bio-oil. Hasil analisis sifat-sifat fisik dari produk bio-oil dapat dilihat pada Tabel 4.

Kadar pH dari produk bio-oil variasi suhu dan variasi nitrogen dapat dilihat pada Tabel 4 dimana kadar pH berkisar antara 2,7-3,8. pH terendah diperoleh pada produk bio-oil dengan penambahan laju alir nitrogen 200 mL/min dan pH tertinggi diperoleh pada produk bio-oil suhu 500°C. Menurut Wibowo dan Hendra (2015), keasaman yang tinggi disebabkan adanya asam asetat dan asam lainnya akibat proses pirolisis yang

memecah selulosa dan lignin serta zat ekstraktif yang bersifat asam, seperti phenol.

**Tabel 3.** Perbandingan Data Massa Minyak yang Didapat pada Percobaan dengan Massa Minyak Hasil Perhitungan

Suhu (°C)	Massa Minyak (Data)	Massa Minyak (Model)	Ralat (%)
450	0	0	0
	31,740	29,944	5,657
	49,770	49,282	0,980
	59,030	61,770	4,642
	69,620	69,835	0,309
	76,460	75,043	1,853
Rerata = 2,240			
500	0	0	0
	50,680	49,954	1,433
	80,770	81,854	1,342
	101,710	102,225	0,506
	116,420	115,234	1,019
	123,940	123,543	0,321
	128,900	128,847	0,041
131,580	132,235	0,498	
Rerata = 0,645			
550	0	0	0
	44,070	56,310	27,775
	98,870	91,165	7,793
	114,560	112,739	1,589
	126,170	126,094	0,061
	135,120	134,360	0,562
	140,650	139,476	0,834
	142,610	142,643	0,023
	143,530	144,607	0,748
	144,600	145,817	0,842
145,480	146,568	0,748	
Rerata = 3,725			

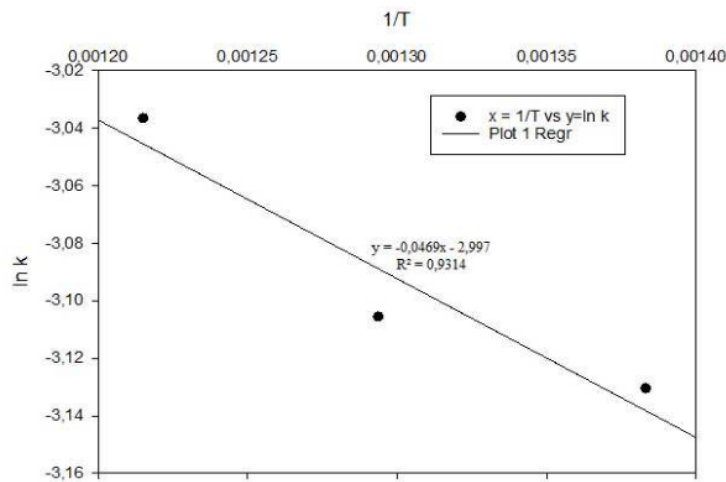
Selain itu juga membuat crude bio-oil hanya dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung seperti boiler, sedangkan penggunaan pada mesin tidak

disarankan karena dapat menyebabkan mesin berkarat. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin, harus dilakukan upgrading dengan cara catalytic cracking, dimana senyawa dengan berat molekul tinggi akan terpecah menjadi senyawa alkana (Boateng, 2010). Penggunaannya, bahan bakar harus mengalami penguapan agar bisa bercampur dengan oksigen yang ada di udara. Penguapan terjadi karena adanya titik didih, dimana titik didih tersebut dipengaruhi oleh berat molekul yang menyusunnya. Dengan kata lain, semakin tinggi massa jenis atau densitas, maka semakin tinggi titik didih dan semakin sulit menjadi uap dan bereaksi dengan oksigen. Oleh karena itu, untuk bahan bakar yang baik di perlukan densitas yang rendah. Sedangkan viskositas mempunyai pengaruh terhadap bentuk dari sempotan bahan bakar, jika viskositas tinggi maka akan memberikan atomisasi yang rendah karena kekentalannya yang besar sehingga mesin sulit di start dan gas buang yang berasap, dan jika viskositas rendah akan menyebabkan terjadi kebocoran dan mempercepat keausan pada mesin. Sehingga nilai viskositasnya perlu di jaga pada range tertentu (Wibowo, 2013).

**Tabel 4.** Analisis Sifat-Sifat Fisik dari Produk Bio-Oil

Suhu	pH	Densitas (g/cm³)	Viskositas (mm²/sec)
450°C	3,1	0,9578	5,6111
500°C	3,8	0,8913	6,0518
550°C	3,4	0,8967	3,4203

9 Nilai kalor adalah jumlah energi maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume. Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor, maka panas yang dihasilkan oleh bahan bakar



**Gambar 5.** Grafik Hubungan ln k vs 1/T



semakin tinggi pula, yang artinya semakin baik bahan bakar tersebut. Nilai kalor yang tinggi juga menyebabkan pembakaran semakin lambat. Nilai kalor yang terkandung dalam produk bio-oil dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai kalor mengalami kenaikan dan penurunan. Pada variasi suhu, nilai kalor mengalami kenaikan seiring dengan meningkatkan suhu pirolisis yang digunakan. Hal ini sesuai dengan penelitian<sup>14</sup> yang juga dilakukan oleh Wibowo (2013), dimana terdapat kecenderungan semakin tinggi suhu pirolisis maka nilai kalor bio-oil semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh komponen senyawa hidrokarbon yang semakin meningkat

Tabel 5. Nilai Kalor pada *Bio-Oil* Hasil Pirolisis

Suhu	Kadar Kalor (cal/g)
450°C	9.277,48
500°C	9.408,84
550°C	9.540,21

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan dalam proses pirolisis maka akan semakin besar yield yang dihasilkan. pada penelitian ini didapatkan suhu optimum pada 550 °C dengan yield sebesar 3,27% (oil), 26,16% (water), 12,55% (gas) dan 58,02 (char). Dari penelitian ini juga diketahui bahwa mekanisme reaksi tunggal dapat mewakili proses pirolisis sekam padi, nilai kinetika (k) untuk proses pirolisis sekam padi adalah  $k = 0,04994 \cdot \exp(-0,38995/R.T)$ . Mekanisme reaksi pirolisis dan data kinetika dari penelitian ini selanjutnya dapat digunakan dalam perancangan reaktor pirolisis dan kondisi operasinya pada skala yang lebih besar, termasuk skala industri.

## Referensi

- <sup>10</sup> Biro Pusat Statistik. 2016. Produksi Padi Tahun 2015 naik 6,37%. [https://www.bps.go.id/brs/view/id/1271\\_pada\\_30\\_Juni\\_2018](https://www.bps.go.id/brs/view/id/1271_pada_30_Juni_2018).
- Biro Pusat Statistik. 2017. Produksi Padi 2016 Rekor Tertinggi Sepanjang Sejarah. [https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2017/06/15/produksi-padi-2016-rekor-tertinggi-sepanjang-sejarah\\_pada\\_25\\_Juli\\_2018](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2017/06/15/produksi-padi-2016-rekor-tertinggi-sepanjang-sejarah_pada_25_Juli_2018).
- Boateng, A.A. 2010. Pyrolysis Oil-Overview of Characteristic and Utilization.

- <sup>4</sup> Braga, R. M., Melo, D. M. A., Aquino, F. M., Freitas, J. C. O., Melo, M. A. F., Barros, J. M. F. & Fontes, M. S. B. (2014). Characterization and Comparative Study of Pyrolysis Kinetics of The Rice Husk and The Elephant Grass. *J Therm Anal Calorim*, vol.155, 1915-1920.
- <sup>1</sup> Fadhillah, F. (2005). Sintesa Bio Crude Oil dengan Pirolisis Pelepeh Salak dalam Reaktor Fixed-Bed. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- <sup>2</sup> Ji-Lu, Z. (2007). Bio-Oil from Fast Pyrolysis of Rice Husk: Yields and Related Properties and Improvement of The Pyrolysis System. *Pyrolysis*, vol.80, 30-35.
- <sup>2</sup> Li, S., Xu, S., Liu, S., Yang, C & Lu, Q. (2004). Fast Pyrolysis of Biomass In Free-Fall Reactor For Hydrogen-Rich Gas. *Fuel Processing Technology*, vol.204, 1201-1211.
- <sup>7</sup> Prasara, J. & Grant, T. (2008). Environmental Impacts Of Alternative Uses of Rice Husks For Thailand. *Proceeding The 6th International Conference On Lca In The Agri-Food Sector*, 12-14 November, Zurich.
- <sup>6</sup> Pütün, E., Uzun, B. B. & Pütün, A. E. (2006). Fixed-Bed Catalytic Pyrolysis of Cotton-Seed Cake: Effects of Pyrolysis Temperature, Natural Zeolite Content and Sweeping Gas Flow Rate. *Bioresource Technology*, vol. 97, 701-712.
- Sukarta, I. N. & Ayuni, P. S. (2016). Analisis Proksimat dan Nilai Kalor pada Pelet Biosolid yang Dikombinasikan dengan Biomassa Limbah Bambu. *Sains dan Teknologi*, vol.5, 728-735.
- <sup>3</sup> Wibowo, S. (2013). Karakteristik Bio-oil Serbuk Gergaji Sengon (*Paraseriathes falcataria* L. Nielsen) Menggunakan Proses Pirolisis Lambat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol.31(4), 258-270.
- <sup>3</sup> Wibowo, S & Hendra, D. (2015). Teknologi Pengolahan Bahan Bakar Nabati Berbasis Selulosa dan Hemiselulosa (bio-oil). Laporan Hasil Penelitian. Bogor : Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Ppengolahan Hasil Hutan.
- <sup>11</sup> Williams, P. T. & Nugranad, N. (2000). Comparison of Products from The Pyrolysis and <sup>13</sup>lytic Pyrolysis of Rice Husks. *Energy & Fuels*, vol.25, 493-513.
- Yaman, S. (2004). Pyrolysis of Biomass to Produce Fuels and Chemical Feedstocks. *Energy Conversion and Management*, vol. 45, 651-671.
- <sup>2</sup> Zhang, S., Dong, Q., Zhang, L. & Xiong, Y. (2016). Effect of Water Washing and Torrefaction on The Pyrolysis Behavior and Kinetics of Rice Husk through TGA and Py-GC/MS. *Bioresource Technology*, vol.199, 352-361.
- <sup>5</sup> Zhang, X., Lei, H., Zhu, L., Zhu, X., Qian, M., Yadavalli, G., Wu, J. & Chen, S. (2016). Thermal Behavior and Kinetic Study for Catalytic co-Pyrolysis of Biomass with Plastics. *Bioresource Technology*, vol.220, 233-238.

# Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bio-oil sebagai Energi Alternatif

## ORIGINALITY REPORT

<b>16%</b>	%	%	<b>16%</b>
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>Submitted to Lambung Mangkurat University</b> Student Paper	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universiti Teknologi MARA</b> Student Paper	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universitas Negeri Semarang</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universiti Brunei Darussalam</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Amrita Vishwa Vidyapeetham</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to National Institute of Technology, Rourkela</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Imperial College of Science, Technology and Medicine</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Politeknik Negeri Bandung</b> Student Paper	<b>1%</b>



9	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1%
10	Submitted to Udayana University Student Paper	1%
11	Submitted to University of Malaya Student Paper	1%
12	Submitted to Universitas Brawijaya Student Paper	1%
13	Submitted to Universiti Malaysia Sarawak Student Paper	1%
14	Submitted to UPN Veteran Yogyakarta Student Paper	<1%
15	Submitted to Padjadjaran University Student Paper	<1%

Exclude quotes      Off  
Exclude bibliography      On

Exclude matches      Off