

# Perumusan Laju Reaksi dan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi Menggunakan Metode Analisis Termogravimetri

Suyitno

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, UNS, Surakarta

Email: suyitno@gmail.com

## ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah untuk merumuskan laju reaksi dan sifat-sifat pirolisis lambat sekam padi. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan metode analisa termogravimetri (TGA). Pengujian dilakukan pada tiga variasi temperatur dinding reaktor yaitu pada 250°C, 300°C, dan 350°C. Dari pengujian diperoleh hasil bahwa pada proses pirolisis lambat sekam padi, untuk temperatur reaktor yang semakin tinggi cenderung meningkatkan laju reaksi. Nilai dari energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial pada proses pirolisis sekam padi adalah 41,24 kJ/mol dan 5,94 %/s. Laju pirolisis rata-rata pada pengujian ini adalah  $8,3 \times 10^{-4}$  %/s. Laju reaksi

pirolisis lambat sekam padi dirumuskan sebagai  $\frac{dY}{dt} = 5,94 e^{\frac{-41,24}{RT_{solid}}} [\%/s]$ . Sifat-sifat pirolisis pada proses pirolisis dapat ditentukan, yaitu  $T_{onset}$ ,  $T_{shoulder}$ ,  $T_{peak}$ , dan  $T_{offset}$ . Sifat-sifat pirolisis dipengaruhi oleh temperatur dinding reaktor ( $T_{wall}$ ).

**Kata kunci:** Sekam padi, pirolisis lambat, analisis termogravimetri, TGA, laju reaksi, energi aktivasi.

## ABSTRACT

*The objective of the research is to formulate the reaction rate and the properties of slow pyrolysis for rice husk. The research was carried out experimentally by thermogravimetry analysis (TGA) method. The research was performed with three variations of reactor wall temperature, i.e. at 250°C, 300°C, dan 350°C. From the research can be concluded that for slow pyrolysis of rice husk, the increasing wall temperature tended to increase the reaction rate. The value of activation energy and pre-exponential factor for slow pyrolysis of rice husk was 41.24 kJ/mol and 5.94 %/s. The average of slow pyrolysis rate for rice husk was  $8.3 \times 10^{-4}$  %/s. The reaction rate for slow*

*pyrolysis of rice husk was formulated into  $\frac{dY}{dt} = 5.94 e^{\frac{-41.24}{RT_{solid}}} [\%/s]$ . The pyrolysis characteristics for pyrolysis process could be determined, i.e.  $T_{onset}$ ,  $T_{shoulder}$ ,  $T_{peak}$ , and  $T_{offset}$ . The pyrolysis characteristics depend on the reactor wall temperature.*

**Keywords:** Rice husk, slow pyrolysis, thermogravimetry analysis, TGA, reaction rate, activation energy.

## PENDAHULUAN

Sekam padi (*rice husk*), walaupun ketersediaannya melimpah di Indonesia, namun pemanfaatannya masih belum optimal. Pemanfaatan sekam padi masih terbatas untuk bahan bakar dalam proses pembuatan batu bata ataupun genting sedangkan arangnya untuk media tanaman. Jika dibandingkan dengan yang sudah dimanfaatkan, masih jauh lebih banyak sekam padi yang hanya dibakar langsung karena dianggap sampah. Hal ini dapat dimengerti karena sekam padi mempunyai kandungan energi yang rendah (14,5 MJ/kg), massa jenis yang rendah

sekitar 110 kg/m<sup>3</sup>, dan kadar abunya yang tinggi sekitar 20% [1].

Dengan teknologi pirolisis lambat, potensi sekam padi di Indonesia yang sekitar 5,4 juta ton per tahun [2] dapat diolah menjadi minyak pirolisis, arang sekam, dan *combustible gas*. Untuk perancangan reaktor pirolisis skala industri diperlukan data-data laju reaksi dan sifat-sifat pirolisis dari sekam padi. Namun demikian data yang lengkap untuk pirolisis lambat sekam padi yang ditanam di Indonesia tidak terdapat dalam literatur. Sebagian besar data dalam literatur adalah untuk pirolisis kayu [3, 4, 5, 6] dan batubara [7, 8].

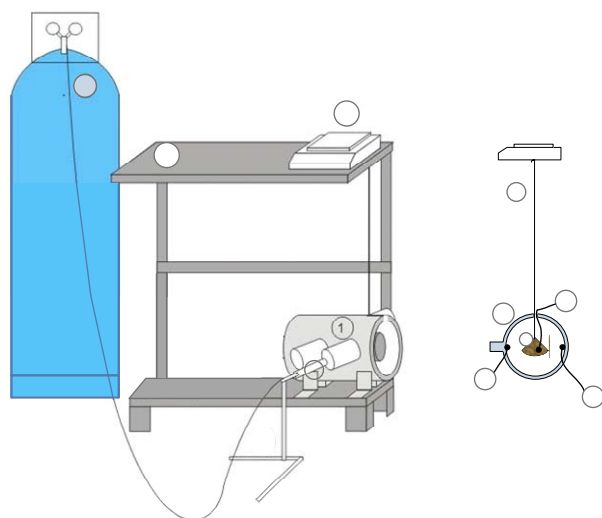
Penelitian mengenai pirolisis sekam padi yang cukup lengkap dilakukan oleh Mansaray, K.G., dan Ghaly, A.E. tahun 1998 [9]. Metode yang digunakan adalah termogravimetri. Pirolisis dilakukan untuk empat jenis sekam padi, yaitu jenis Lemont LG, ROK 14, CP 4, dan Pa Potho yang ada di Kanada. Proses pirolisis dilakukan pada temperatur 700°C. Sehingga, pengujian ini dapat digolongkan pengujian pirolisis pada temperatur tinggi. Padahal dalam banyak hal, pirolisis pada temperatur tinggi membutuhkan energi yang tinggi. Oleh karena itu, pirolisis pada temperatur yang rendah (< 400°C) yang digolongkan pada jenis pirolisis lambat (laju pemanasan < 100 K/menit) adalah penting dan perlu untuk dilakukan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Bahan yang dipakai pada penelitian ini adalah sekam padi jenis padi IR64. Padi yang baru dipanen kemudian dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari hingga kurang lebih satu minggu. Setelah itu padi baru dikupas kulitnya dengan cara diselep. Gambar sekam padi dapat dilihat pada Gambar 1. Kadar air diukur dengan menggunakan *moisture analyser* merek AND.



Gambar 1. Sekam Padi IR 64



Gambar 2. Alat Termogravimetri

Karakteristik pirolisis dan laju reaksi pirolisis sekam padi diteliti dengan metode analisa termogravimetri (TGA). Peralatan termogravimetri (lihat Gambar 2) yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bagian reaktor (1) dan pemanas (2). Panas diperoleh dari pembakaran gas LPG (3). Sampel sekam padi diambil sebanyak 10 g dan diletakkan dalam cawan (4) yang digantung di dalam reaktor (1). Gantungan cawan dihubungkan dengan timbangan digital (5) untuk mengukur perubahan massa sekam selama proses pirolisis. Timbangan diletakkan pada suatu kedudukan (6) pada posisi di atas reaktor. Termokopel (7) diletakkan di dalam tumpukan sekam untuk mengukur perubahan temperatur sekam. Termokopel ini (7) merupakan perwujudan dari  $T_{solid}$  dalam Persamaan 1.

Termokopel lainnya (8 dan 9) digunakan untuk mengukur temperatur dinding reaktor. Temperatur dinding reaktor ( $T_{wall}$ ) merupakan rata-rata aritmatik dari temperatur pada posisi 8 dan posisi 9 yang diatur pada 250, 300, dan 350°C. Cara pengesetan temperatur tersebut dilakukan dengan mengatur bukaan gas LPG yang dibakar dalam reaktor. Pada analisa TGA ini menggunakan suhu yang tetap pada bagian luar ( $T_{wall}$ ). Panas yang dijaga konstan pada bagian luar ini kemudian menaikkan temperatur pada material yang dipirolisis.

Prinsip kerja dari metode *thermogravimetric* (TGA) adalah pemanasan suatu bahan pada tempat khusus dengan suhu dan waktu tertentu, hingga mengalami penurunan pada massanya. Beberapa langkah untuk menghasilkan diagram TGA yang digunakan untuk menentukan  $dY/dt$  dan  $T_{solid}$  adalah (lihat Gambar 3):

1. Catat perubahan massa sekam terhadap waktu untuk setiap variasi  $T_{wall}$ .
2. Catat perubahan  $T_{solid}$  terhadap waktu untuk setiap variasi  $T_{wall}$ .
3. Buat grafik Y (fraksi massa) terhadap waktu untuk setiap variasi  $T_{wall}$ . Fraksi massa (Y) adalah perbandingan antara massa sekam terukur dengan massa sekam awal.
4. Cari  $dY/dt$  pada Y dari 0,9 – 0,5 untuk setiap variasi  $T_{wall}$ .  $dY/dt$  merupakan gradien garis yang diperoleh dari persamaan linear yang dibentuk dari  $Y = 0,9$  sampai  $Y = 0,5$  sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.
5. Cari  $T_{solid}$  pada  $Y = 0,7$  untuk setiap variasi  $T_{wall}$ .

## Menentukan Laju Reaksi Pirolisis Lambat Sekam Padi

Persamaan dasar kinetika (laju) reaksi menurut Arrhenius dapat dinyatakan dengan:

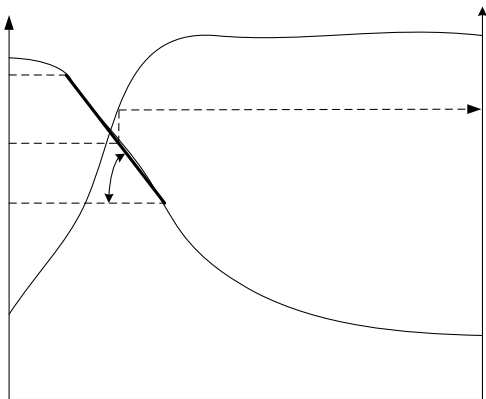
$$\frac{dY}{dt} = Ae^{-E/RT_{solid}} \quad (1)$$

dimana

- $Y$  : fraksi massa =  $m(t)/m_i$
- $m_i$  : massa sekam awal
- $m(t)$  : massa sekam yang berubah terhadap waktu
- $dY$  : penurunan fraksi massa
- $dt$  : perubahan waktu (dt)
- $A$  : faktor pre-eksponensial
- $e$  : Bilangan natural (2,72)
- $E$  : energi aktivasi bahan (J/mol)
- $R$  : konstanta gas (8,31 J/mol K)
- $T_{solid}$  : temperatur pada sekam (K)

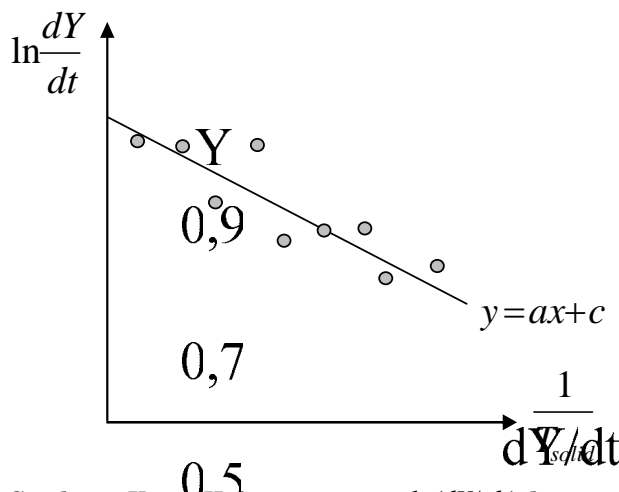
Persamaan (1) kemudian diubah menjadi:

$$\ln \frac{dY}{dt} = \ln A - \frac{E}{RT_{solid}} \quad (2)$$



Gambar 3. Cara Menentukan  $dY/dt$  dan  $T_{solid}$

Dengan melakukan serangkaian pengujian untuk memperoleh pasangan  $dY/dt$  dan  $T_{solid}$ , maka dapat dibuat grafik hubungan antara  $\ln(dY/dt)$  dengan  $1/T_{solid}$ . Grafik yang terbentuk kemudian dicari persamaan garis lurusnya melalui regresi linear seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Hubungan antara  $\ln(dY/dt)$  dengan  $1/T_{solid}$

Persamaan linear yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (2).

$$y = ax + c \longrightarrow \ln \frac{dY}{dt} = - \frac{E}{R} \frac{1}{T_{solid}} + \ln A \quad (3)$$

Sehingga didapat nilai energi aktivasi dari:

$$E = -aR \quad (4)$$

Nilai faktor pre-eksponensial ( $A$ ) ditemukan pada saat grafik  $y = ax+c$  memotong sumbu y atau ( $1/T_{solid} = 0$ ), maka:

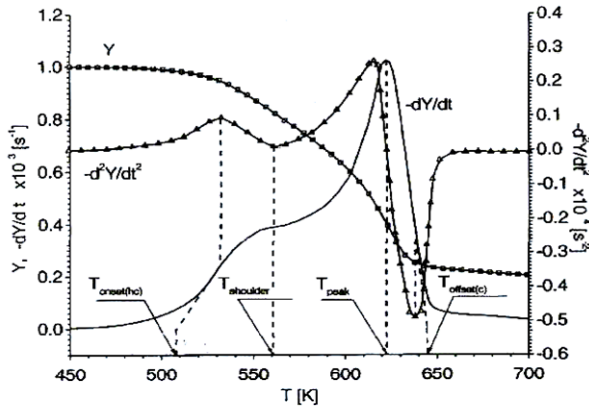
$$\ln \frac{dY}{dt} = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (5)$$

$$A = \frac{dY}{dt} \Big|_{\frac{1}{T_{solid}}=0} \quad (6)$$

### Menentukan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diolah menjadi grafik TG (*thermogravimetry*) dan DTG (*differential thermogravimetry*) sebagaimana dapat diilustrasikan dalam Gambar 5. Grafik TG adalah grafik  $dY/dt$  terhadap  $T_{solid}$ . Grafik DTG yaitu grafik  $d^2Y/dt^2$  terhadap  $T_{solid}$ . Kedua grafik ini digunakan untuk mencari sifat-sifat pirolisis lambat sekam padi. Saat awal sekam padi mulai terdegradasi disebut dengan  $T_{initial}$ .  $T_{initial}$  adalah  $T_{solid}$  yang didapat pada saat  $Y = 0,975$  jika sekam yang digunakan adalah kering. Jika sekam yang digunakan berkadar air 10%, maka  $T_{initial}$  dicari pada  $Y = 0,878$ .

Permulaan sewaktu hemiselulosa terurai ditunjukkan dari informasi  $T_{onset}$ , yaitu pada ekstrapolasi bukit pertama pada awal proses pirolisis yang terjadi pada kurva  $d^2Y/dt^2$  ke  $dY/dt$  dan ditarik ke sumbu ordinat nol melalui gradiennya. Pada penguraian hemiselulosa ini juga ada satu karakteristik lagi yaitu  $T_{shoulder}$ . Titik ini ditunjukkan pada titik yang paling mendekati nol pada daerah yang paling mendekati dengan  $T_{onset}$  tadi. Untuk kasus jika hemiselulosa dan selulosa tidak terjadi reaksi yang *overlapping*, maka  $T_{shoulder}$  merupakan titik akhir dari proses dekomposisi dari hemiselulosa.  $T_{peak}$  merupakan laju dekomposisi maksimum dari proses pirolisis lambat ini. Titik ini biasanya terjadi pada saat proses dekomposisi selulosa.  $T_{peak}$  ditunjukkan pada kurva  $-(dY/dt)$  saat mencapai titik maksimum. Untuk permulaan dari proses yang terakhir yang didominasi dengan penguraian dari lignin disebut  $T_{offset}$ . Titik ini dicari dari ekstrapolasi laju pirolisis dari  $-(d^2Y/dt^2)$  minimum pada daerah ini. Metode yang digunakan untuk mencari karakteristik pirolisis sekam padi diadaptasi dari penelitian Gronli, M. G. tahun 2002 [3].



Gambar 5. Kurva TG dan DTG untuk Menentukan Sifat-Sifat Pirolisis [3]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air pada Sekam Padi

Sekam yang digunakan pada pengujian ini adalah sekam tanpa proses perlakuan khusus, namun diusahakan sampel yang diuji mempunyai keseragaman kadar air. Pengujian pertama sekam padi yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian adalah mencari kandungan airnya (*moisture content*). Pencarian kandungan air ini juga dimaksudkan untuk mencari daerah, dimana proses pengeringan pada sekam padi dapat selesai karena pada daerah inilah proses pirolisis dimulai. Kandungan air dicari menggunakan alat *moisture analyzer* merk AND. Kandungan air (*moisture content*) yang terkandung pada sekam padi ini adalah 10,1% (Tabel 1). Ini berarti bahwa kurva TG dan DTG yang dianalisa untuk proses pirolisis adalah pada daerah dimana Y (fraksi massa) dibawah 0,9 karena pada titik ini pirolisis baru mulai terjadi. Sedangkan untuk daerah dimana Y diatas 0,9 diprediksikan masih terjadi proses pengeringan.

Tabel 1. Rata-Rata Kadar Air pada Sekam Padi (Basis Basah)

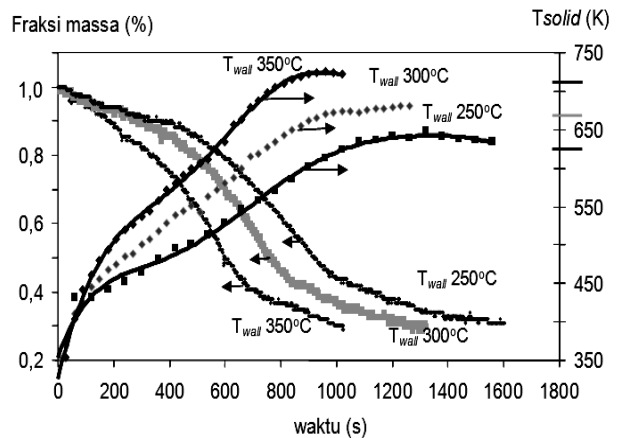
No	Massa (g)	Kadar Air (%)
1	5,0	10,17
2	5,0	10,18
3	5,0	10,07
4	5,0	10,11
5	5,0	10,00
Rata-rata		10,10

Perumusan Laju Reaksi Pirolisis Lambat Sekam Padi

Perumusan laju reaksi pirolisis lambat sekam padi dilakukan dengan mencari nilai E (energi aktivasi) dan A (faktor pre-eksponensial) seperti dapat dilihat pada Persamaan 1. Pada pengujian

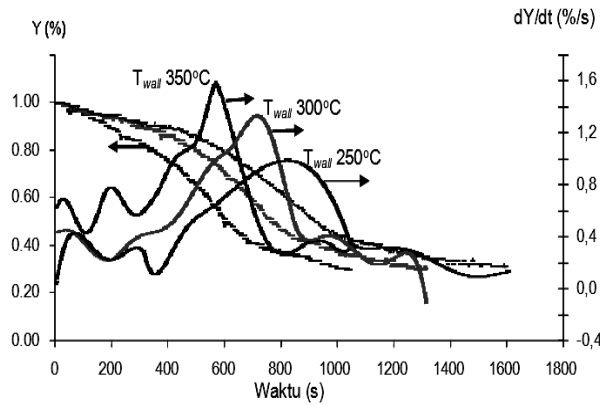
proses pirolisis lambat sekam padi dilakukan dengan tiga variasi pengujian yaitu pada  $T_{wall}$  250°C, 300°C, dan 350°C.

Dari data awal yang diperoleh dapat dibuat grafik perubahan fraksi massa (Y) terhadap waktu (t) dan perubahan temperatur pada sekam ( $T_{solid}$ ) terhadap waktu untuk setiap variasi  $T_{wall}$  sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6. Dari data ini dapat diketahui bahwa untuk parameter  $T_{wall}$  yang semakin tinggi maka nilai dari laju kenaikan temperatur sekam semakin tinggi dan juga laju penurunan massa semakin cepat. Grafik ini juga menunjukkan bahwa untuk parameter  $T_{wall}$  yang semakin tinggi maka reaksi dekomposisi yang terjadi semakin cepat. Jika dicermati, untuk  $T_{wall}$  yang semakin tinggi berarti energi kalor yang diberikan pada sistem menjadi semakin besar. Energi yang diberikan pada suatu sistem semakin banyak akan mengakibatkan jumlah partikel bahan yang mendapatkan energi untuk berdekomposisi menjadi semakin banyak, hal inilah yang menyebabkan proses dekomposisi semakin cepat.



Gambar 6. Perubahan Fraksi Massa (Y) Terhadap Waktu (t) dan Perubahan Temperatur Sekam ( $T_{solid}$ ) Terhadap Waktu untuk Setiap Variasi  $T_{wall}$

Gambar 7 menunjukkan kurva TG atau turunan pertama dari fraksi massa terhadap waktu. *Range* fraksi massa (Y) yang digunakan untuk mencari energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial adalah antara 0,5 hingga 0,9. Hal ini karena untuk daerah dimana Y lebih dari 0,9 masih mengalami proses pengeringan. Sedangkan  $T_{solid}$  dicari pada saat Y mencapai 0,7. Data untuk  $T_{solid}$  yang diperoleh pada saat Y = 0,7 dan data untuk dY/dt yang diperoleh dalam selang Y = 0,9 hingga Y = 0,5 pada variasi  $T_{wall}$  250°C, 300°C, dan 350°C dapat ditabelkan pada Tabel 2. Nilai dari laju pirolisis rata-rata untuk proses ini adalah  $6,68 \times 10^{-4}$  %/s,  $8,84 \times 10^{-4}$  %/s,  $9,37 \times 10^{-4}$  %/s untuk  $T_{wall}$  250°C, 300°C, dan 350°C. Metode untuk mencari dY/dt untuk daerah Y = 0,9 sampai Y = 0,5 dan  $T_{solid}$  pada Y = 0,7 dapat dilihat pada Gambar 3.



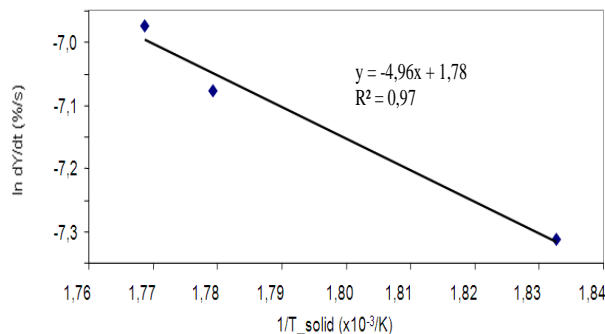
Gambar 7. Kurva Hubungan antara TG (dY/dt) dengan Waktu

Tabel 2. Nilai Energi Aktivasi dan Faktor Pre-Ekspensial pada Proses Pirolisis

T <sub>wal</sub> (°C)	T <sub>solid</sub> (K)	dY/dt (x10 <sup>-4</sup> %/s)	1/T <sub>solid</sub> (x10 <sup>-3</sup> 1/K)	ln (dY/dt) (%/s)	E (kJ/mol)	A (%/s)
250°C	545,6	6,68	1,833	-7,31		
300°C	562,0	8,44	1,779	-7,08	41,24	5,94
350°C	565,4	9,37	1,769	-6,97		

Data ln (dY/dt) yang didapatkan kemudian diplot terhadap 1/T<sub>solid</sub> yang selanjutnya dibuat regresi linearnya sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8. Energi aktivasi adalah merupakan perkalian antara gradien dari regresi linear pada Gambar 8 dengan konstanta gas (R = 8,31 J/mol.K). Sedangkan untuk faktor pre-eksponensialnya dicari dari perpotongan garis regresi dengan sumbu ordinat pada Gambar 8. Dari penelitian ini diperoleh data baru bahwa untuk nilai dari energi aktivasi dari pirolisis sekam padi jenis IR 64 adalah 41,24 kJ/mol dan nilai faktor pre-eksponensialnya adalah 5,94 %/s. Sehingga laju reaksi pirolisis lambat sekam padi dapat dirumuskan menjadi

$$\frac{dY}{dt} = 5,94 e^{\frac{-41,24}{RT_{solid}}} \text{ [%/s]}.$$



Gambar 8. Kurva Hubungan antara ln(Y) dengan 1/T<sub>solid</sub>

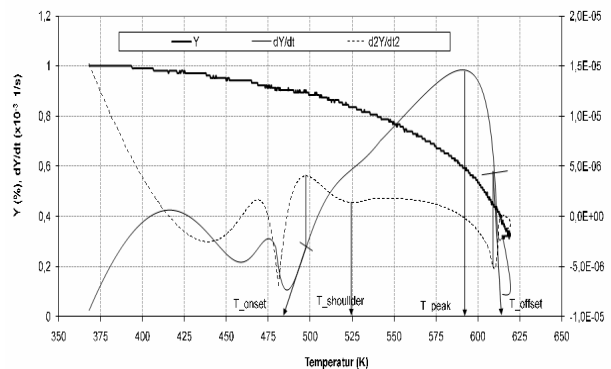
Hasil energi aktivasi yang didapat dari pengujian ini berbeda dengan yang kebanyakan terdapat pada referensi untuk biomasa kayu. Pada

publikasi oleh Branca, Albano, dan Di Blasi tahun 2004 [4] untuk biomasa kayu, energi aktivasi yang didapatkan untuk mekanisme orde satu adalah 103 kJ/mol. Pada publikasi oleh Mansary, K.G., dan Ghaly, A.E. tahun 1998 [9] dinyatakan bahwa energi aktivasi untuk proses pirolisis adalah 140–180 kJ/mol dan 116,6 kJ/mol untuk asumsi proses dekomposisi terjadi dua tahap yaitu primer dan sekunder.

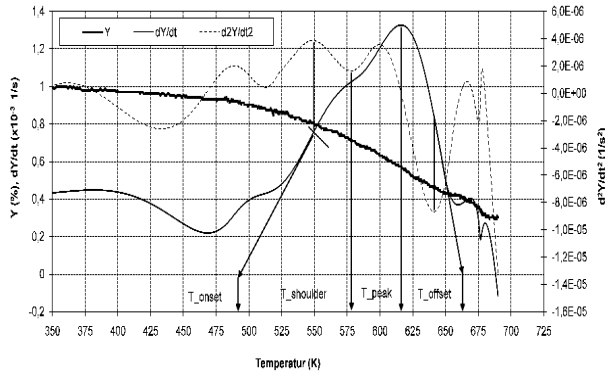
Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada proses pirolisis sekam padi mempunyai energi aktivasi 41,24 kJ/mol. Harga ini jauh lebih rendah dari hasil penelitian yang dilakukan Branca C., Albano A., Di Blasi C. tahun 2004 [4] dengan bahan kayu dan sekaligus menunjukkan bahwa sekam padi lebih mudah terdekomposisi dibandingkan dengan kayu. Harga energi aktivasi dari penelitian ini masih berada dalam jangkauan harga energi aktivasi sekam padi pada reaksi primer dan reaksi sekunder yang dipublikasi oleh Mansary, K.G., dan Ghaly, A.E. tahun 1998 [9]. Masih menurut Mansary, K.G., dan Ghaly, A.E. tahun 1998 [9] dinyatakan bahwa energi aktivasi pada jerami padi sekitar 30 kJ/mol. Hal ini menunjukkan bahwa energi aktivasi untuk sekam padi lebih dekat nilainya dengan jerami padi daripada nilai energi aktivasi dari kayu.

### Sifat-Sifat Proses Pirolisis Lambat Sekam Padi

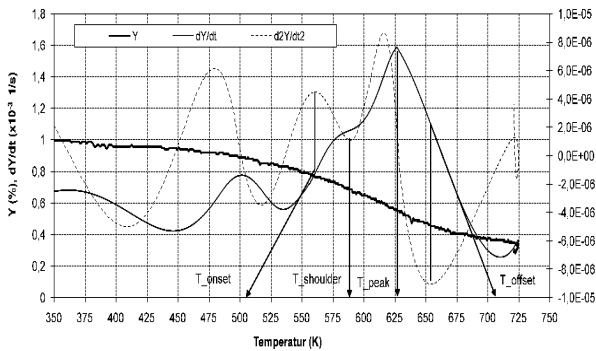
Teknik yang digunakan untuk mencari sifat-sifat proses lambat sekam padi dapat dilihat kembali pada Gambar 5. Dari data hasil pengujian dapat diolah menjadi kurva TG dan DTG sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11. T<sub>onset</sub>, T<sub>shoulder</sub>, T<sub>peak</sub>, dan T<sub>offset</sub> dapat dicari untuk masing-masing T<sub>wal</sub> 250°C, 300°C, dan 350°C. Nilai dari karakteristik pirolisis sekam padi pada pengujian yang telah dilakukan untuk tiga variasi pengujian dan telah ditabelkan pada Tabel 3.



Gambar 9. Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi pada T<sub>wal</sub> = 250°C



Gambar 10. Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi pada  $T_{wall} = 300^{\circ}\text{C}$



Gambar 11. Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi pada  $T_{wall} = 350^{\circ}\text{C}$

Tabel 3. Nilai dari Karakteristik Pirolisis dari Variasi  $T_{wall}$

$T_{wall}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{onset}$ (K)	$T_{shoulder}$ (K)	$T_{peak}$ (K)	$T_{offset}$ (K)
250	484	525	590	615
300	496	578	616	664
350	500	588	626	702

Dari Tabel 3 terlihat bahwa pada temperatur 484 K, sekam padi sudah mengalami dekomposisi. Semakin tinggi temperatur dinding menyebabkan temperatur *onset* mengalami kenaikan. Laju dekomposisi maksimum dari proses pirolisis sekam padi terjadi pada temperatur antara 590-626 K untuk ketiga variasi temperatur dinding. Semakin besar temperatur dinding reaktor juga menyebabkan kenaikan temperatur puncak dekomposisi.

Nilai dari hasil karakteristik pirolisis dari variasi suhu  $T_{wall}$  dari  $250^{\circ}\text{C}$  hingga  $350^{\circ}\text{C}$  memperlihatkan nilai dari masing-masing komponen yang mengalami kenaikan, sehingga bisa dikatakan bahwa  $T_{wall}$  yang semakin meningkat menyebabkan nilai dari karakteristik pirolisis juga mengalami peningkatan. Zona reaksi adalah daerah dimana proses pirolisis terjadi dan pada proses ini juga memperlihatkan bahwa zona reaksi untuk variasi  $T_{wall}$   $250^{\circ}\text{C}$  hingga  $350^{\circ}\text{C}$  juga mengalami pelebaran ( $T_{offset} - T_{onset}$ ). Hal ini seperti yang dapat

dilihat pada Tabel 3, bahwa zona reaksi dari sekam yang diuji pada  $T_{wall}$   $250^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ , dan  $350^{\circ}\text{C}$  adalah  $131^{\circ}\text{C}$ ,  $168^{\circ}\text{C}$ , dan  $202^{\circ}\text{C}$ . Sehingga dapat diketahui bahwa untuk parameter  $T_{wall}$  yang semakin tinggi maka zona reaksi yang terjadi semakin lebar.

## KESIMPULAN

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa laju reaksi dan sifat-sifat pirolisis lambat pada sekam padi sangat berbeda dengan pada kayu dan batubara. Penelitian ini telah berhasil merumuskan laju reaksi pirolisis lambat sekam padi jenis IR 64. Sifat-sifat pirolisis lambat sekam padi jenis IR 64 juga telah berhasil diungkapkan dalam penelitian ini. Pada proses pirolisis lambat sekam padi, untuk temperatur reaktor yang semakin tinggi menyebabkan laju pirolisis yang semakin cepat. Nilai dari energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial pada proses pirolisis sekam padi di penelitian ini adalah  $41,24 \text{ kJ/mol}$  dan  $5,94 \text{ \%}/\text{s}$ . Laju reaksi pirolisis lambat sekam padi data dirumuskan sebagai  $\frac{dY}{dt} = 5,94 e^{\frac{-41,24}{RT_{solid}}} [\text{\%/s}]$ . Sifat-sifat pada proses pirolisis ( $T_{onset}$ ,  $T_{shoulder}$ ,  $T_{peak}$ ,  $T_{offset}$ ) untuk temperatur dinding ( $T_{wall}$ ) yang semakin tinggi mengalami kenaikan yang disertai dengan zona reaksi yang semakin melebar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Suyitno, *Energy from Biomass: Potential, Technology, and Strategy*, Seminar Nasional: New and Renewable Energy, FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia, 10 Maret 2009.
- Hambali E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., Hendroko, R., *Produksi Padi dan Palawija*, 2007.
- Gronli M.G., Varhegyi, G. dan Di Blasi, C., *Thermogravimetric Analysis and Devolatilization Kinetics of Wood*, Ind. Eng. Chem. Res., Vol 41, hal. 4201-4208, 2002.
- Branca C., Albano A., Di Blasi C., *Critical Evaluation of Global Mechanisms of Wood Devolatilization*, *Thermochimica Acta*, Vol 429, hal. 133-141, 2005.
- Lapuerta, M.N., Hernandez, J.J., Rodriguez, J.R., *Comparison Between the Kinetics of Devolatilisation of Forestry and Agricultural Wastes from the Middle-South Regions of Spain*, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, hal. 13-19, 2006.
- Demirbas, A., *Properties of Charcoal Derived from Hazelnut Shell and the Production of*

- Briquettes Using Pyrolytic Oil*, Energy, Vol. 24, hal. 141-150, 1999.
7. Blesa, M.J., Miranda, J.L., Moliner, R., Izquierdo, M.T., Palacios, J.M., *Low-Temperature Co-Pyrolysis of a Low-Rank Coal and Biomass to Prepare Smokeless Fuel Briquettes*, J. Anal.Appl.Pyrolysis, Vol 70, hal. 665-677, 2003.
  8. Skodras, G., Grammelis, P., Basinas, P., *Pyrolysis and Combustion Behaviour of Coal-MBM Blends*, Bioresource Technology, Vol. 98, hal. 1-8, 2007.
  9. Mansaray, K.G., Ghaly, A.E., *Thermal Degradation of Rice Husk in Nitrogen Atmosphere*, Bioresources Technology, Vol. 65, hal. 13-20, 1998.