

Thermal Characteristic Study of Biomass for Heating Rate and Liquid Yield on Pyrolysis Process to Produce Bio-Oil

Nasruddin A. Abdullah¹, Rachmat Rahardian¹, Imansyah Ibnu Hakim¹, Nandy Putra^{1*} and Raldi A. Koestoer¹

¹ Laboratorium Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Kampus UI Depok

*Corresponding author: nandyputra@eng.ui.ac.id.

Abstract Bio-oil is a liquid that produces from biomass decomposition. The biomass is abundantly available in Indonesia and can be utilized and recycled to useful substance. The recycling process of biomass can improve the economic added value, energy conservation, and environment. Pyrolysis is one of the processes which can be implemented to produce bio-oil. In this process, the biomass will be decomposed and convert into vapor, liquid, char and non-condensable gas. Decomposition process requires a heat, and the thermal characterization of raw material is an important factor that influences the heat transfer in the system. The heating rate is the main factor in the pyrolysis process to determine the amount of liquid yield. This research was investigated the thermal characteristic of biomass to the heating rate and liquid yield in the pyrolysis process. Thermal diffusivity is one of the thermal characteristics of biomass. Simultaneous Thermal Analysis (STA), density and thermal conductivity measurement were conducted to get the thermal diffusivity value. A tubular fixed-bed reactor equipped with the electric heater was used in this experiment and 200 g of raw material was fed into the reactor as feedstock. Liquid and char are weighed to get mass balance. Temperatures measurement using thermocouple were placed at the reactor, reaction zone, liquid collection system (LCS), ambient, inlet and outlet of cooling water. Thermal characteristics of biomass influenced the heating rate and liquid yield. The heating rate decreased when thermal diffusivity of raw material used increased, meanwhile the lower heating rate will produce more liquid. The highest liquid yield was obtained from *jati belanda* wood with thermal diffusivity $1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, heating rate $5,244 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ and TGA curve gradient $0.208 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ with total liquid yield $49.0 \text{ wt}\%$.

Abstrak Bio-oil merupakan liquid yang dihasilkan dari proses dekomposisi biomassa. Biomassa sangat melimpah tersedia di Indonesia, pemanfaatan biomassa menjadi bio-oil sangat menguntungkan, baik dari aspek ekonomi, konservasi energi dan lingkungan. Untuk menghasilkan bio-oil dari biomassa dapat dilakukan dengan proses pirolisis, pada proses ini bio massa akan didekomposisi menjadi zat cair, arang dan uap. Proses dekomposisi membutuhkan energi panas, karakteristik termal dari biomassa akan menjadi faktor yang mempengaruhi proses ini. Laju pemanasan merupakan salah satu variabel penting yang mempengaruhi proses produksi dan jumlah cairan yang dihasilkan. Pada penelitian ini telah dikaji pengaruh karakteristik termal dari biomassa terhadap *laju pemanasan* dan jumlah liquid yang dihasilkan pada proses pirolisis. Salah satu karakteristik termal yang berhubungan dengan proses pirolisis adalah difusivitas termal. Analisis dan Pengujian *Simultaneous Thermal Analysis* (STA), berat jenis dan konduktivitas termalnya dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakter material terhadap kalor. Proses pirolisis dilakukan di dalam *tubular fixed-bed reactor* yang dilengkapi dengan pemanas listrik dan massa bahan baku yang digunakan 200 gram. Cairan dan arang yang dihasilkan ditimbang untuk mendapatkan kesetimbangan massa proses. Temperatur diukur pada beberapa lokasi yaitu di dalam reaktor, zona reaksi, *liquid collection system* (LCS), uap keluar, temperature ruangan dan cairan yang dihasilkan. pengukuran temperatur menggunakan *thermocouple*. Sifat termal bahan baku mempengaruhi laju pemanasan dan pada akhirnya mempengaruhi jumlah cairan yang dihasilkan. Laju pemanasan bahan baku akan turun jika menggunakan bahan baku dengan difusivitas termal relatif lebih tinggi. Bahan baku dengan laju pemanasan yang lebih rendah akan menaikkan jumlah cairan yang dihasilkan. Produk cair yang paling tinggi didapatkan dari bahan baku *jati belanda* dengan nilai difusivitas termal $1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, laju pemanasan $5,244 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan gradien TGA $0,208 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ menghasilkan $49 \text{ wt}\%$ produk cair

Kata kunci: Karakteristik termal, biomassa, laju pemanasan, produk cair, proses pirolisis

Pendahuluan

Biomassa merupakan bahan yang sangat banyak tersedia di Indonesia, baik dari segi jumlah maupun jenis biomasanya. Biomassa ini dapat berasal dari limbah hasil hutan, limbah hasil industri, pertanian dan perkebunan [1]. Pemanfaatan dan pengolahan biomassa menjadi suatu produk yang bias dimanfaatkan akan menambah nilai ekonomi, juga akan mempengaruhi kondisi lingkungan, perubahan iklim yang disebabkan oleh kesalahan pengolahan limbah [2].

Pengolahan biomassa menjadi produk cair dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengawet, bahan bakar, zat kimia dan pupuk untuk pertanian [3, 4]. Untuk menghasilkan zat cair dari biomassa dapat dilakukan dengan proses pirolisis, yaitu proses dekomposisi biomassa dengan tidak melibatkan oksigen di dalamnya [5, 6]. Proses dekomposisi dari biomassa ini diakibatkan oleh kalor yang masuk ke dalam biomassa dan menaikkan temperaturnya sehingga mencapai temperatur dekomposisinya. Zat yang terdekomposisi dalam bentuk uap dan aerosol ini akan mengalir ke dalam sistem yang selanjutnya didinginkan di area *liquid collectin system* (LCS) untuk mendapatkan produk cair dari zat-zat dalam rentang titik cair sesuai dengan jenis pendingin yang digunakan dan *non-condensable gas* (NCG) akan dilepaskan ke udara atau disirkulasikan kembali sebagai bahan bakar, karena zat yang tidak bisa mencair ini mempunyai nilai bakar yang cukup tinggi. Sebagian bahan baku yang tidak terdekomposisi akan menjadi zat arang (*bio-char*) yang juga mempunyai nilai bakar yang cukup tinggi yang bisa dimanfaatkan sebagai karbon aktif juga.

Proses perpindahan kalor pada biomassa ini akan mempengaruhi jumlah cairan yang dihasilkan dan komposisi dari liquid yang dihasilkan. Proses perpindahan kalor dan kenaikan temperatur ini dipengaruhi oleh besarnya kalor yang disuplai ke dalam biomassa yang diukur dengan laju pemanasan. Oleh karena proses dekomposisi biomassa ini sangat dipengaruhi oleh laju pemanasan [7]. Sifat termal dari biomassa ini tentu saja akan mempengaruhi perpindahan kalor dan laju pemanasan dan pada akhirnya juga akan mempengaruhi jumlah liquid yang dihasilkan. Pada penelitian ini akan dilakukan investigasi pada karakteristik termal dari biomassa terhadap laju pemanasan dan jumlah liquid yang dihasilkan pada proses pirolisis.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan berasal dari limbah hasil industri seperti kayu jati,

merbau, serbuk tripleks, meranti, jati belanda, dan kamper. Pengujian karakteristik termal menggunakan nilai difusivitas termal (α) dari bahan baku yang terdiri dari variabel konduktivitas termal dari bahan, berat jenis dan panas jenisnya.. Semua sampel pengujian diambil berdasarkan kondisi real bahan baku seperti berat jenis (ρ) dan ukuran partikel ketika dimasukkan ke dalam reaktor. Berat jenis bahan baku diukur pada kondisi massa 200 gram dan volume ketika dimasukkan ke dalam reaktor. Pengujian *Simultaneous Thermal Analysis* (STA) yang terdiri dari uji *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) *heat flow* untuk mendapatkan nilai kapasitas panas (C_p) dari suatu material [8], Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) untuk mengetahui stabilitas termal material dan fraksi volatil dengan mengukur perubahan massa terhadap temperatur sehingga didapatkan besarnya kehilangan massa terhadap temperatur [9]. Dari hasil TGA ini akan didapatkan gradien kehilangan massa terhadap temperatur.

Penyiapan masing-masing bahan baku dilakukan dengan memotong dan menghaluskan dengan ukuran rata-rata 25 *mesh* (700 μm), selanjutnya bahan baku tersebut dikeringkan dengan menggunakan *vacuum drying* dengan memanaskan pada suhu 80 °C selama 4 jam sehingga menurunkan kandungan air di bawah 10% dengan basis kering dimana tingkat kandungan air yang direkomendasikan untuk produksi cairan bio-oil dengan proses pirolisis [10]. Bahan baku yang sudah dikeringkan ini ditimbang dan diukur volumenya di dalam reaktor. Massa untuk satu kali percobaan adalah 200 gram. Pengukuran berat dan volume dari bahan baku ini akan mendapatkan nilai berat jenis dari bahan baku.

Sistem pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan reaktor jenis *fixed-bed reactor* skala lab dengan diameter 3" dan tinggi 215 mm, reaktor jenis ini sangat umum digunakan pada proses pirolisis terutama dalam riset [11]. Pemanas reaktor menggunakan pemanas listrik dengan batas daya 1500 Watt. Pemanas ini dilengkapi oleh *proportional integral differential* (PID) *controller* untuk menjaga temperatur reaksi tetap 500 °C [12, 13]. Sensor kontrol dipasang pada dinding luar reaktor. Uap yang dihasilkan oleh reaktor akan dialirkan ke LCS, dan di LCS ini uap didinginkan untuk mencair sesuai dengan temperatur pendinginan dan air pendingin yang digunakan. Dinding zona reaksi dijaga pada 150 °C untuk mencegah uap terkondensasi pada zona tersebut [14]. Zat yang berada pada rentang temperatur pendinginan ini akan mencair, sedangkan zat dengan titik cair di bawah temperatur pendingin akan di lepas ke udara. Instrumentasi untuk

mengukur perubahan temperatur dipasang pada bagian reaktor, untuk mengukur perubahan temperatur bahan baku dan dinding reaktor, selanjutnya juga dipasang di zona reaksi untuk mengukur temperatur uap pada zona tersebut sebelum masuk ke LCS. Pengukur temperatur juga dipasang pada LCS untuk mengukur temperatur uap yang masuk dan keluar dan pada Produk cair dan gas yang keluar dari LCS. Temperatur *inlet* dan *outlet* cairan pendingin juga dipantau dan dipasang alat pengukur temperatur untuk mendapatkan besarnya kalor yang diserap dari LCS ini. Cairan pendingin yang digunakan adalah air dengan temperatur ruang. Pengukuran temperatur digunakan adalah *thermocouple* tipe K yang dihubungkan dengan data akuisisi yang terhubung dengan komputer untuk menyimpan seluruh data penelitian. *Experimental set-up* dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pengukuran laju pemanasan dilakukan dengan menghitung gradient kenaikan temperatur bahan baku yang diberi daya sebesar 1500 Watt. Pengukuran jumlah liquid dilakukan dengan

menimbang massa dari bahan baku dan produk yang dihasilkan berdasarkan persamaan [15] :

$$Cair (\%) = \frac{liquid\ weight}{feedstock\ weigh} \times 100 \quad (1)$$

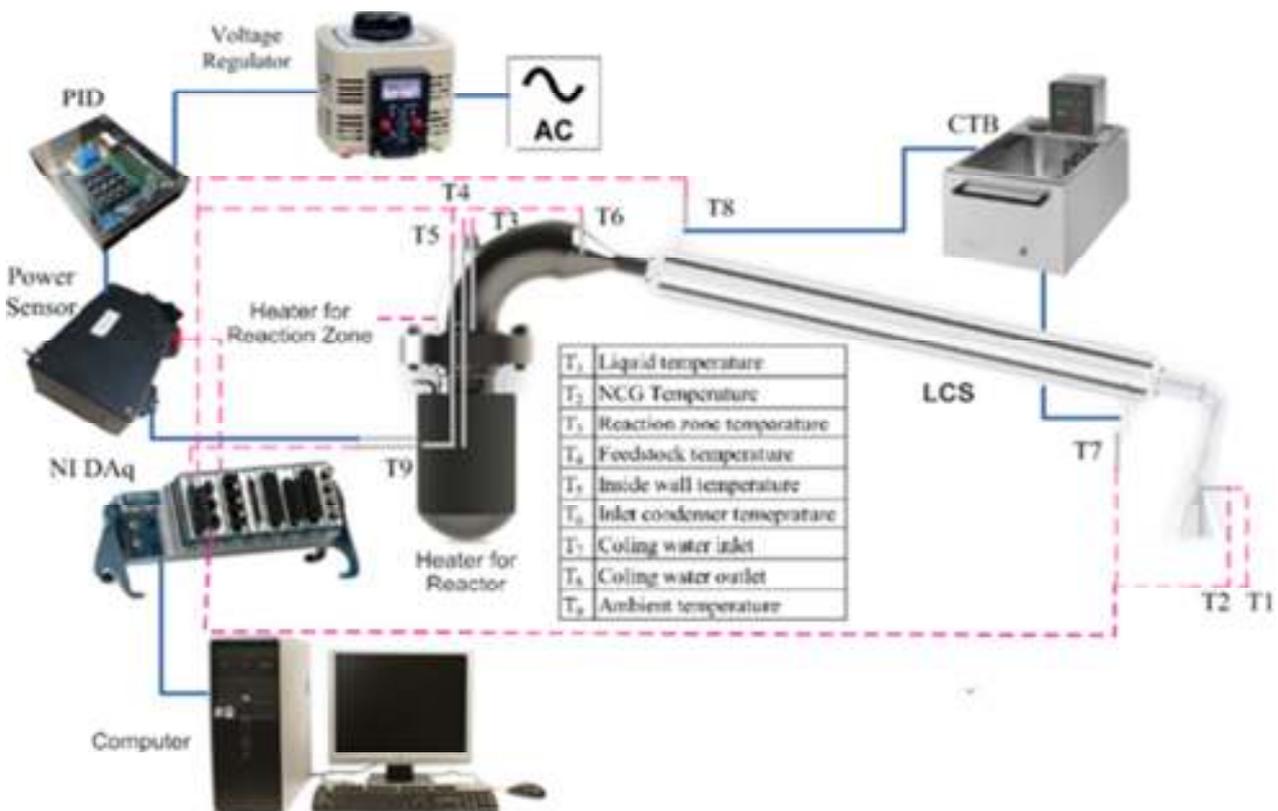
$$Arang (\%) = \frac{Solid\ weight}{feedstock\ weigh} \times 100 \quad (2)$$

$$Gas (\%) = 100 - (Cair + Arang) \quad (3)$$

Dari hasil pengukuran dan data-data yang didapatkan akan dianalisis pengaruh dari sifat termal bahan baku terhadap laju pemanasan yang terjadi dan jumlah produk liquid yang dihasilkan.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik termal bahan baku, laju pemanasan, produk liquid dan gradien TGA dapat dilihat pada **Table 1**. Dari masing-masing parameter, terutama karakteristik termal ini mempengaruhi gradien TGA, laju pemanasan dan produk cair yang dihasilkan.

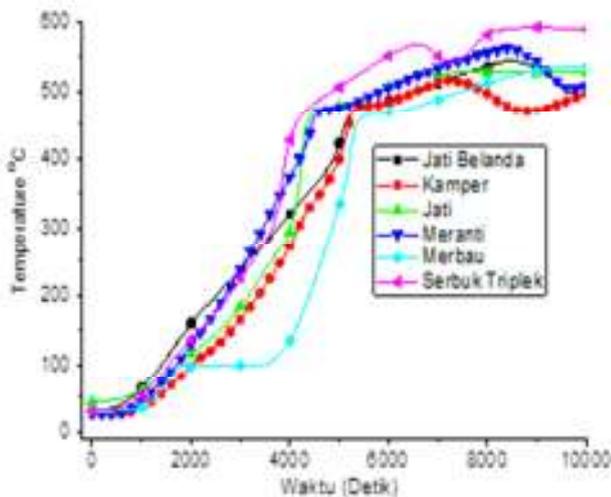


Gambar 1. *Set-up* eksperimental proses pirolisis [16]

Tabel 1. Data hasil pengukuran sifat termal, laju pemanasan, presentasi produk cair dan gradien TGA

No	Jenis Bio Massa	Konduktivitas Termal W/m K	Berat Jenis (kg/m ³)	Panas Jenis (kJ/kg. K)	Difusivitas Termal (m ² /s)	Laju pemanasan (°C/Min)	Liquid Yield (wt %)	Gradient TGA (%/°C)
1	Jati	0.172	262.3	98.7	0.664 x 10 ⁻⁵	7.176	46.5%	0.1970
2	Merbau	0.320	342.7	71.0	1.315 x 10 ⁻⁵	12.42	38.5%	0.1828
3	Serbuk Tripleks	0.270	237.1	78.7	1.446 x 10 ⁻⁵	7.836	36.5%	0.1820
4	Meranti	0.265	287.8	54.8	1.681 x 10 ⁻⁵	8.178	39.0%	0.1892
5	Jati belanda	0.322	248.0	68.2	1.902 x 10 ⁻⁵	5.244	49.0%	0.2080
6	Kamper	0.270	332.9	37.8	2.146 x 10 ⁻⁵	6.558	44.0%	0.1930

Gradient TGA adalah gradien dari presentasi penurunan massa bahan baku terhadap kenaikan 1 °C temperatur. Perhitungan dan data laju pemanasan didapatkan dari distribusi temperatur bahan baku seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Perhitungan laju pemanasan dimulai dari temperatur 100 °C sampai dengan 500 °C. Masing-masing bahan baku mempunyai alur distribusi masing-masing dengan tren yang cenderung sama, dengan laju pemanasan yang berbeda-beda. Proses pemanasan bahan baku dimulai dari temperatur ruangan sampai 100 °C, sebagian bahan baku dengan kandungan bahan baku yang mengandung air akan menyerap kalor laten untuk menguapkan kandungan air [17], ditandai dengan garis mendatar pada distribusi temperturnya.

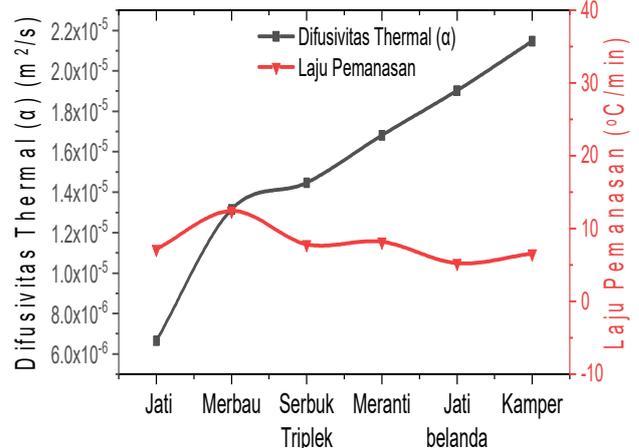


Gambar 2. Distribusi temperatur untuk mendapatkan laju pemanasan untuk masing-masing bahan baku

Hubungan antara difusivitas termal dan laju pemanasan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dari gambar terlihat tren kenaikan difusivitas termal akan menurunkan laju pemanasan, artinya terjadi pengaruh karakteristik termal material yang diwakili oleh difusivitas termal terhadap laju pemanasan dari distribusi temperatur bahan baku

yang terjadi di dalam reaktor. Jati belanda mempunyai nilai laju pemanasan yang terendah dibandingkan dengan bahan baku yang lain. Hal ini terjadi karena proses perpindahan kalor di dalam bahan baku dipengaruhi oleh sifat termal bahan.

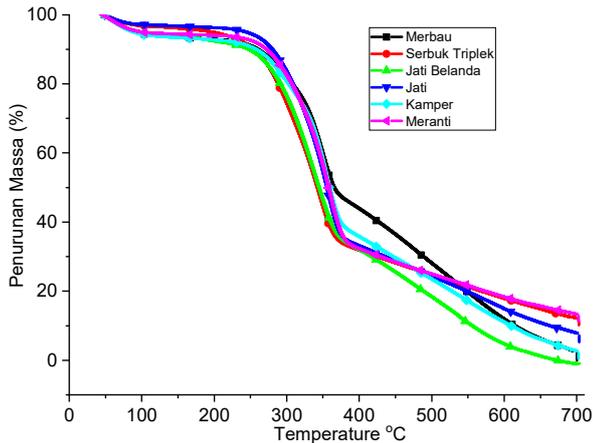
Salah satu metode untuk mengetahui kehilangan massa terhadap temperatur pada proses pemanasan dengan melakukan uji *Thermogravimetric Analysis* (TGA) [18]. Telah dilakukan pengujian TGA untuk setiap bahan baku. Grafik TGA dapat dilihat pada Gambar 4.



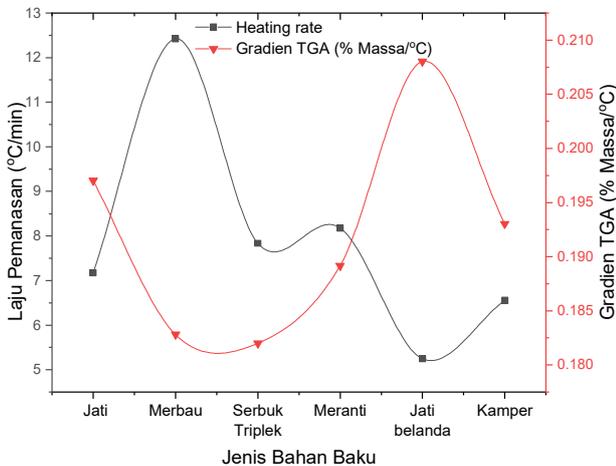
Gambar 3. Hubungan antara difusivitas termal dan laju pemanasan pada bahan baku di dalam reaktor pirolisis

Dari hasil pengujian terlihat bahwa pada setiap jenis bahan baku terjadi penurunan massa signifikan antara temperatur 200 °C sampai dengan 500 °C, di luar temperatur tersebut penurunan agak landai artinya temperatur reaksi dari bahan baku pada proses pirolisis berada pada rentang temperatur tersebut. Gradient temperatur di bawah 200 °C cenderung sangat landai karena pada temperatur tersebut masih terjadi penguapan uap air, sedangkan pada temperatur di atas 500 °C membutuhkan energi yang besar untuk terjadi reaksi dekomposisi karena panas jenis yang dibutuhkan oleh bio-massa pada temperatur tinggi lebih besar.

Dari Gambar 4 didapatkan juga gradien penurunan massa terhadap temperatur. Penurunan massa bahan baku terhadap temperatur pada proses pirolisis juga dipengaruhi laju pemanasannya. Bahan baku dengan kenaikan laju pemanasan yang rendah cenderung memiliki gradien grafik TGA yang lebih tinggi, secara proses kenaikan temperatur yang rendah pada bahan baku dengan difusivitas termal yang lebih tinggi disebabkan oleh kebutuhan energi yang



Gambar 4. Penurunan massa terhadap temperatur pada bahan baku dengan pengujian TGA



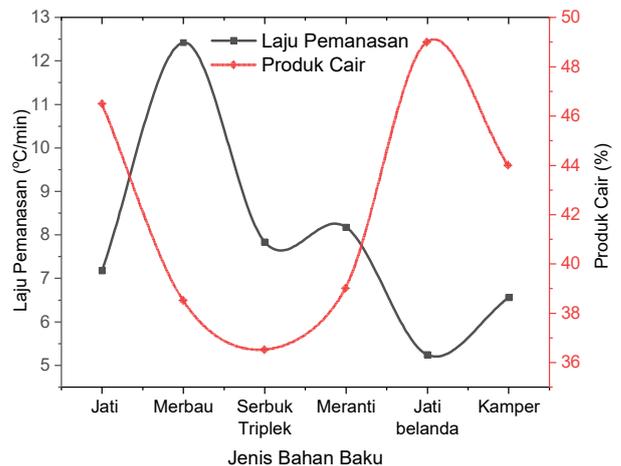
Gambar 5. Hubungan antara laju pemanasan dengan gradien penurunan massa bahan baku terhadap temperatur dengan pengujian TGA

Begitu juga dengan produk cair yang dihasilkan, proses dekomposisi yang terjadi pada bahan baku biomassa dipengaruhi oleh energi yang masuk ke dalamnya. Bahan baku dengan laju pemanasan yang lebih rendah cenderung menghasilkan cairan yang lebih banyak, karena stabilitas termal material dan fraksi volatil yang dihasilkan pada material ini akan lebih besar [19], sehingga kemungkinan menghasilkan cairan akan semakin besar seperti yang diperlihatkan pada

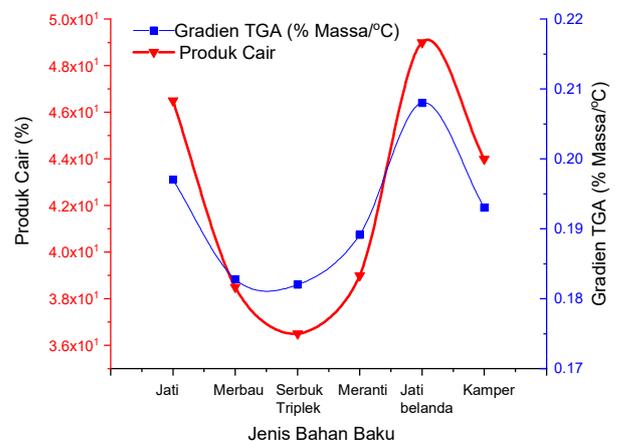
lebih besar yang dibutuhkan oleh bahan baku persatuan beratnya karena material dengan difusivitas termal lebih rendah memiliki nilai kapasitas panas yang lebih tinggi.

Gambar 5 memperlihatkan Hubungan antara laju pemanasan dengan gradient penurunan massa bahan baku terhadap temperatur dengan pengujian TGA. Dari kurva TGA ini bisa didapatkan kondisi operasional dari bahan baku yang akan digunakan pada proses pirolisis.

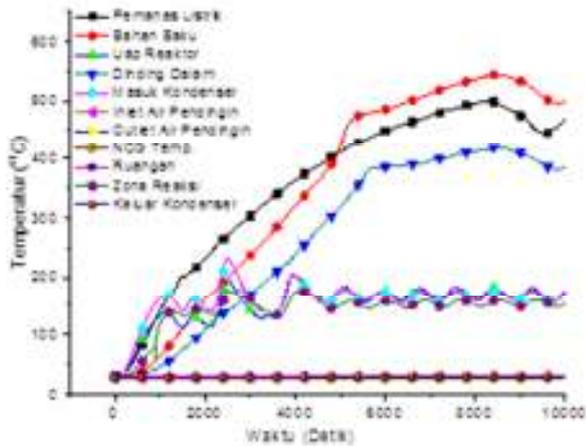
Gambar 6. Pada Gambar 7 memperlihatkan kurva produk cair dan gradien TGA. Kedua kurva sangat identik, karena perubahan yang terjadi dan tren kurva hampir sama. Gradien kurva TGA yang tinggi cenderung akan menghasilkan cairan yang lebih banyak. Bahan baku jati belanda merupakan bahan baku yang menghasilkan terbanyak dan juga memiliki gradien TGA yang paling tinggi. Jenis biomassa Jati Belanda mampu menghasilkan cairan 49 wt%.



Gambar 6. Hubungan antara laju pemanasan dengan produk cair yang dihasilkan



Gambar 7. Hubungan antara produk cair dengan gradient penurunan massa bahan baku terhadap temperatur dengan pengujian TGA



Gambar 8. Distribusi temperatur proses pirolisis dengan bahan baku jati belanda

Distribusi temperatur proses dengan bahan baku jati belanda didapat dilihat pada **Gambar 8**. Pada distribusi temperatur terlihat bahwa pemanasan bahan baku sedikit lambat, karena untuk mencapai temperatur dekomposisi yaitu 500 °C membutuhkan waktu hampir 8000 detik. Temperatur bagian-bagian yang juga dapat dilihat pada gambar tersebut

Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa, sifat termal dari bahan baku akan mempengaruhi kondisi operasional dan jumlah liquid dari proses pirolisis yang dilakukan. Uji DTA dapat memprediksi kondisi operasional dan optimum cairan yang dihasilkan. Difusivitas termal bahan baku yang lebih tinggi akan mengakibatkan penurunan laju pemanasan. Bahan baku dengan kondisi laju pemanasan yang rendah cenderung menghasilkan produk cair yang lebih tinggi, begitu juga dengan gradien grafik TGA bahwa penurunan gradien TGA akan mengakibatkan penurunan cairan yang dihasilkan. Pada penelitian ini cairan yang paling banyak dihasilkan dari bahan baku jati belanda, dengan nilai difusivitas termalnya 1.9×10^{-5} , laju pemanasan 5,244 °C/menit dan gradien TGA 0,208 menghasilkan 49 wt% produk cair.

Penghargaan

Ucapan Terima kasih disampaikan kepada DRPM Universitas Indonesia dan Kemenristek Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skema “Hibah PTUPT” tahun 2018

Referensi

- [1]. Pütün, A.E., E. Apaydın, and E. Pütün, Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy*, 2004. **29**(12-15): p. 2171-2180.
- [2]. Zhang, Z.-b., et al., Production of phenolic-rich bio-oil from catalytic fast pyrolysis of biomass using magnetic solid base catalyst. *Energy Conversion and Management*, 2015. **106**: p. 1309-1317.
- [3]. Abdullah, N.A., et al., A review of improvements to the liquid collection system used in the pyrolysis process for producing liquid smoke. *International Journal of Technology*, 2017. **8**(7): p. 1197-1206.
- [4]. Fang, S., et al., A study on microwave-assisted fast co-pyrolysis of chlorella and tire in the N₂ and CO₂ atmospheres. *Bioresource Technology*, 2018. **250**: p. 821-827.
- [5]. Bridgwater, A.V., Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and bioenergy*, 2012. **38**: p. 68-94.
- [6]. Bakar, M.S.A. and J.O. Titiloye, Catalytic pyrolysis of rice husk for bio-oil production. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 2013. **103**: p. 362-368.
- [7]. Onay, Ö., S. Beis, and Ö.M. Koçkar, Fast pyrolysis of rape seed in a well-swept fixed-bed reactor. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 2001. **58**: p. 995-1007.
- [8]. Iten, M., et al., Investigating the impact of Cp-T values determined by DSC on the PCM-CFD model. *Applied Thermal Engineering*, 2017. **117**: p. 65-75.
- [9]. Soria-Verdugo, A., et al., Analyzing the pyrolysis kinetics of several microalgae species by various differential and integral isoconversional kinetic methods and the Distributed Activation Energy Model. *Algal research*, 2018. **32**: p. 11-29.
- [10]. Bridgwater, A., Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 1999. **51**(1-2): p. 3-22.
- [11]. Abdullah, N.A., et al., *An experimental study of the vapor temperature in reaction zone for producing liquid of camphor wood in a non-sweeping gas fixed bed pyrolysis reactor* 2018: I-Trec 2018.
- [12]. Garg, R., N. Anand, and D. Kumar, Pyrolysis of babool seeds (*Acacia nilotica*) in a fixed bed reactor and bio-oil characterization. *Renewable Energy*, 2016. **96**: p. 167-171.

- [13].Akhtar, J. and N.S. Amin, A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. **16**(7): p. 5101-5109.
- [14].Abdullah, N.A., et al., An Investigation on the Effect of the Vapor Temperature in the Reaction Zone to the Liquid Yield and Composition of Bio-Oil with the Meranti (*Shorea pinanga*) as feedstock. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2018.
- [15].Ly, H.V., et al., Fast pyrolysis of *Saccharina japonica* alga in a fixed-bed reactor for bio-oil production. *Energy conversion and management*, 2016. **122**: p. 526-534.
- [16].Abdullah, N.A., et al. *Influence of temperature on conversion of plastics waste (polystyrene) to liquid oil using pyrolysis process*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. IOP Publishing.
- [17].Abdullah, N.A., et al., *The effect of heating rate and optimum temperature distribution on the maximum liquid produced in a non-sweep gas fixed-bed pyrolysis reactor*, in *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2018. p. 20.
- [18].Ly, H.V., J. Kim, and S.-S. Kim, Pyrolysis characteristics and kinetics of palm fiber in a closed reactor. *Renewable energy*, 2013. **54**: p. 91-95.
- [19].Abdullah, N.A., et al., *Influence of Feedstock Particle Size from Merbau Wood (*Intsia bijuga*) on Bio-Oil Production Using a Heat Pipe Fin L-Shaped Condenser in a Pyrolysis Process*. 2018: *Energy Conversion and Management*. p. 36.