

Renewable Energy dari Pirolisis Kayu Pinus dengan Katalis Zeolit

Renewable Energy from Pyrolysis of Pine Wood with Zeolite Catalyst

Zubaidi Achmad^{a*}, Abdullah Kuntaarsa^a, Bety Alfitamara^b, and Alfia Virgiandini^c

Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta 55283, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 3 Februari 2021
Diterima dalam revisi 2 Februari 2022
Diterima 9 Februari 2022
Online 3 Maret 2022

ABSTRAK: Energi terbarukan menjadi isu hangat atas berkurangnya cadangan energi fosil yang tidak dapat diperbarui. Untuk menjawab tantangan ketersediaan energi tersebut maka dilakukan penelitian pada proses perengkahan bersuhu tinggi dari kayu pinus untuk mendapatkan bahan bakar minyak atau biasa disebut pirolisis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui rendemen, sifat fisik, dan nilai kalor hasil pirolisis. Proses pirolisis dilakukan dengan memvariasikan persentase katalis zeolit tipe mordenit sebanyak 0% b / b, 2% b / b, dan 4% b / b, dengan massa 100 gram kayu pinus yang lolos pengayakan tiap sampel. hingga 50 mesh. Sebelum digunakan, katalis diaktivasi secara fisik dengan pemanasan pada suhu 500°C dan diaktivasi secara kimiawi menggunakan HCl untuk meningkatkan aktivitas zeolit. Pirolisis dilakukan pada suhu 400°C, 450°C, 500°C, dan 550°C. Setelah dilakukan analisa, bio-oil didapatkan rendemen optimum sebesar 43,77142% dengan massa katalis 4% b / b dan temperatur 500°C. Sifat fisik yang diperoleh berupa densitas 1,094723 g / ml, viskositas 2,96 cP, dan titik nyala 58°C. Sedangkan nilai kalor tertinggi pada kondisi katalis 4% dan suhu reaksi 550°C adalah 26045,50 kJ / kg.

Kata Kunci: Bio-oil; Pirolisis; Kayu Pinus; Zeolit

ABSTRACT: Renewable energy becomes a hot issue on the decrease of fossil energy reserves that can not be renewed. To answer the challenge of the availability of these energy a study was performed in a high-temperature cracking process from pine wood to obtain fuel oil or so-called pyrolysis. The purpose of this study was to determine the yield, physical properties, and the calorific value of the pyrolysis results. Pyrolysis process is done by varying the percentage of mordenite-type zeolite catalyst as much as 0% b/b, 2% b/b, and 4% b/b, with a mass of 100 grams of pine wood that passes sieving each sample to 50 mesh. Before use, the catalysts physically activated by heating at a temperature of 500°C and chemically activated using HCl to enhance the activity of the zeolite. Pyrolysis carried out at 400°C, 450°C, 500°C, and 550°C. After the analysis, bio-oil obtained optimum yield of 43.77142% by mass of the catalyst 4% b/b and a temperature of 500 °C. Physical properties obtained in the form of density 1.094723 g/ml, 2.96 cP viscosity, and 58°C flash point. While the highest calorific value on the condition of the catalyst 4% and the reaction temperature 550°C is 26045.50 kJ/kg.

Keywords: Renewable Energy; Bio-oil; Pyrolysis; Pine Wood; Zeolite

1. Pendahuluan (Introduction)

Dewasa ini konsumsi minyak bumi semakin meningkat, tetapi potensinya semakin menurun, sehingga banyak negara di dunia mulai mengembangkan berbagai renewable energy seperti energi angin, energi matahari, energi air, energi geothermal dan energi bio. Menurut Wibowo & Hendra (2015), bio-oil merupakan salah satu

renewable energy berbahan nabati yang dapat diubah menjadi minyak bakar dengan berat jenis tinggi. Bio-oil terbuat dari bahan nabati berkadar ligno-selulosa, seperti limbah kehutanan dan industri hasil hutan. Penggunaan bio-oil di industri diterapkan sebagai bahan bakar boiler atau bahan bakar langsung untuk tujuan pengeringan. Bio-oil memiliki ciri – ciri cairan berwarna gelap dan berbau asap.

*Corresponding Author: +12-2345678; fax : +2345 678910
Email: zugpi1959@gmail.com

Bio-oil dapat diperoleh melalui dekomposisi termal tanpa adanya oksigen atau yang biasa disebut pirolisis. Teknologi pirolisis ini dapat menghasilkan campuran alkana, alkadiena, senyawa aromatik, dan asam karboksilik, dan hasil ini mirip dengan bahan bakar diesel berbasis senyawa hidrokarbon (Suharto, 2017). Produk dari proses pirolisis yaitu fase padat, cair dan gas. Fase padat adalah berupa arang (char), fase cair berupa minyak (oil) dan fase gas berupa senyawa yang tidak terkondensasi (pyro-gas) Berdasarkan parameternya, pirolisis dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu pirolisis lambat (slow pyrolysis), pirolisis cepat (fast pyrolysis), dan pirolisis kilat (flash pyrolysis). Pirolisis lambat (slow pyrolysis) berlangsung pada suhu 400°C, pirolisis cepat (fast pyrolysis), berlangsung pada suhu 500°C sedangkan dan pirolisis kilat (flash pyrolysis) berlangsung pada suhu $\geq 550^\circ\text{C}$. (Saber, dkk., 2016). Pirolisis katalitik adalah proses pirolisis menggunakan katalisator. Katalisator ini berfungsi untuk memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek (C1-C5). Di samping itu, katalisator mampu meningkatkan kecepatan dekomposisi dan memperbesar produk cair hasil pirolisis. (Danarto, 2010). Pada penelitian ini digunakan kondisi fast pyrolysis dengan rentang suhu 400°C -550°C dengan bantuan katalis zeolit.

Zeolit merupakan kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah berbentuk kerangka tiga dimensi, bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul. Rumus molekul empiris zeolit adalah $M_x/n [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot wH_2O$ dimana M = kation alkali tanah atau alkali, n = valensi logam alkali, w adalah banyaknya molekul air per satuan unit sel, dan x,y = bilangan tertentu. 1 Zeolit terdiri dari 3 komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan kandungan air. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Banyak cara dilakukan untuk meningkatkan kinerja zeolit salah satunya dengan mengaktifkan zeolit terlebih dahulu. Cara aktivasi zeolite ada 2, yaitu secara fisika dan kimia. Secara fisika zeolite dapat diaktivasi dengan cara mengalsinasi zeolit mencapai suhu tertentu guna meningkatkan pori – pori zeolit serta menghilangkan air yang terkandung dalam zeolit. Cara kimia dapat dilakukan dengan penambahan asam / basa kuat ke dalam zeolit dengan cara merefluks zeolit. Zeolit alam diaktivasi dengan cara diasamkan menggunakan asam mineral HCl untuk melarutkan logam alkali seperti K^+ , Na^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang menutup pori-pori pada zeolit serta mengurangi jumlah kation dalam zeolit. dan letak atom yang dipertukarkan dapat diatur kembali, serta mengaktifkan ruang interlaminer sehingga porositas zeolit bertambah dan permukaannya menjadi lebih aktif (Ramadhani, dkk., 2017).

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Baku

Kayu pinus, Zeolite Alam, Gas Nitrogen, Aquades, HCl

2.2 Perlakuan Bahan Baku

Kayu pinus diperkecil ukurannya hingga lolos 50 mesh, kemudian dioven untuk menghilangkan airnya yang terkandung didalamnya hingga mencapai berat konstan.

2.3 Aktivasi Zeolit

Sebanyak 100 gr zeolit direndam dalam aquades, selanjutnya disaring dan dikeringkan di dalam oven bersuhu 100°C sampai diperoleh berat konstan. Menghaluskan zeolit hingga lolos 80 mesh, selanjutnya dikalsinasi dengan furnace pada temperatur 500°C selama 4 jam. Prosedur aktivasi zeolit selanjutnya adalah mencampurkan zeolit alam 40 gram yang tela ke dalam 800 mL HCl 4 N, memasukan campuran tersebut ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi refluks pendingin dan magnetic stirrer, mengatur suhu refluks 90°C. Waktu pengadukan selama 5 jam, menghitung waktu setelah suhu larutan tercapai. Selanjutnya menyaring dan mencuci dengan menggunakan aquades hingga netral. Mengeringkan katalis zeolit yang terbentuk dalam oven pada suhu 100°C. Selanjutnya katalis tersebut dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam

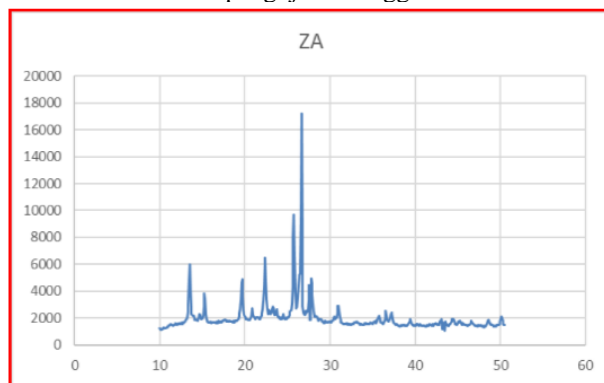
2.4. Proses Pirolisis

Memasukkan kayu pinus bersama katalis zeolit ke dalam tube furnace. Kemudian memvariasikan rasio katalis sebesar 0%, 2%, dan 4% terhadap massa kayu pinus serta variasi suhu sebesar 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C. Kemudian melakukan proses pirolisis bebas udara/oksigen yang digantikan menggunakan pengaliran gas nitrogen dengan debit 30 mL/menit serta mengkondensasikan uap dan bio-oil yang diperoleh ditampung dalam gelas ukur. Selanjutnya menganalisis bio-oil yang dihasilkan sifat fisis seperti densitas, viskositas, titik nyala dan nilai kalor.

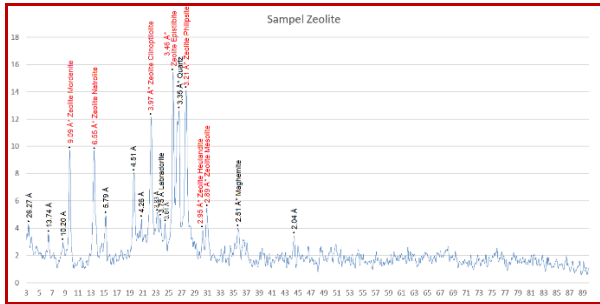
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Zeolit Teraktivasi

Zeolit yang digunakan berasal dari Klaten. Berikut jenis zeolit berdasar hasil pengujian menggunakan XRD :



Gambar 1. Zeolit Sebelum Diaktivasi.



Gambar 2. Zeolit Setelah Diaktivasi.

dari kedua gambar diatas diperoleh jenis zeolit sebelum dan sesudah diaktivasi sebagai berikut:

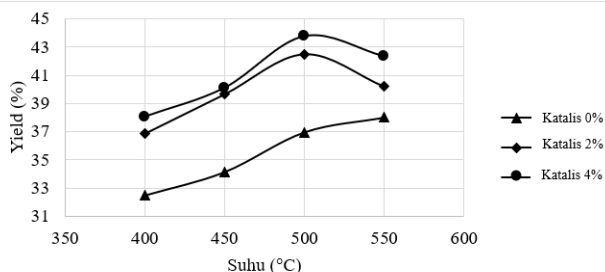
Tabel 1. Hasil Uji XRD Zeolit

Jenis zeolite	Komposisi Mineral
Zeolit sebelum diaktivasi	Mordenit, Kniptolitit
Zeolit setelah diaktivasi	Mordenit

Sebelum diaktivasi zeolit berjenis mordenit $[(Na_8(Al_8Si_{40}O_{96})16H_2O)]$ kniptolitit $[(Na_4K_4(Al_8Si_{40}O_{96}).24H_2O)]$, dan setelah diaktivasi diperoleh zeolit berjenis mordenit $[(Na_8(Al_8Si_{40}O_{96})16H_2O)]$. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan mengalsinasi zeolit didalam *furnace* mencapai suhu 500°C selama 4 jam. Aktivasi secara fisika ini berhasil menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori zeolit. Selanjutnya aktivasi secara kimia dengan merefluks zeolit dengan HCl. Penambahan asam ini bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Pengaktifan dengan asam mineral akan melarutkan logam alkali seperti K^+ dan Na^+ yang menutup sebagian rongga pori dan pengaktifan dengan H^+ dalam ruang *interlaminar* sehingga zeolit lebih *porous* dan permukaan lebih menjadi aktif.

3.2 Bio – Oil

Variasi suhu pada proses pirolisis *bio-oil* adalah 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, sedangkan katalis yang digunakan memiliki variasi sebesar 0% b/b, 2% b/b, dan 4% b/b terhadap massa serbuk kayu pinus. Variasi suhu serta katalis dilakukan guna mengetahui yield optimum berdasar suhu dan katalis yang berbeda.



Gambar 3. Grafik hubungan antara yield *bio-oil* dan berbagai persen katalis terhadap suhu.

Hasil yang diperoleh pada reaksi tanpa katalis memiliki kenaikan yield yang curam karena reaksi pirolisis

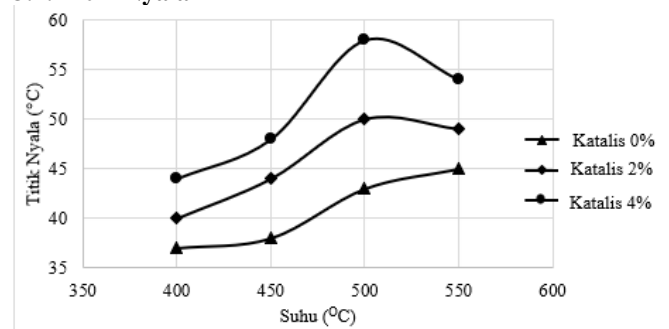
adalah reaksi penguraian karena adanya panas. Menurut Lourentinus (2018) reaksi pirolisis adalah reaksi yang membutuhkan panas, reaksi tersebut bersifat endotermis. Hal ini dibuktikan dengan seiring meningkatnya suhu pirolisis, yield *bio-oil* yang diperoleh juga meningkat. Pada suhu yang sama dengan pemberian katalis yang berbeda, diperoleh pula yield yang meningkat. Hal ini menunjukkan katalis bekerja menurunkan energi aktivasi dan mengarahkan reaksi untuk menghasilkan yield yang lebih besar. Pada suhu 550°C, terjadi penurunan yield, terjadinya penurunan yield *bio-oil* dikarenakan terjadinya penurunan aktivitas katalis. Penurunan aktivitas katalis dikarenakan suhu aktivasi katalis zeolit yang hanya dilaksanakan pada suhu 500°C. Selain itu serbuk kayu pinus mengandung produk gas volatile matter yang akan terurai menjadi senyawa – senyawa gas yang lebih sederhana seperti CH_4 , CO_2 , dan H_2 yang sulit terkondensasi. Pada penelitian ini diperoleh yield tertinggi pada suhu 500°C dengan katalis 4% dan diperoleh yield sebesar 43.77%

3.3 Sifat Fisika

Tabel 2. Analisis Sifat Fisika *Bio-Oil*

T (°C)	ρ (gr/ml)	ρ (gr/ml)	viskositas (cP)	Titik Nyala (°C)
400	1.048000	1.048000	1.65	37
450	1.066957	1.066957	1.94	38
500	1.086885	1.086885	1.88	43
550	1.085692	1.085692	1.78	45
400	1.053500	1.053500	1.68	40
450	1.071846	1.071846	1.70	44
500	1.089557	1.089557	1.34	50
550	1.086403	1.086403	1.80	49
400	1.057100	1.057100	1.98	44
450	1.084091	1.084091	1.95	48
500	1.094723	1.094723	2.96	58
550	1.08568	1.08568	2.08	54

3.4. Titik Nyala

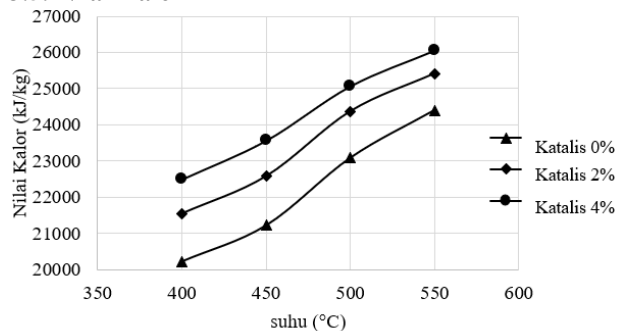


Gambar 4. Grafik hubungan antara titik nyala *bio-oil* dan berbagai persen katalis terhadap suhu.

Grafik titik nyala memiliki bentuk yang mirip dengan *yield bio-oil*, karena titik nyala dipengaruhi oleh perolehan *yield bio-oil*. Titik nyala *bio-oil* dari penelitian ini berada pada *range* 37-58°C. Secara teoritis semakin banyak

penambahan minyak membuat nilai titik nyala meningkat. Hal ini menunjukkan semakin banyak volume minyak, maka semakin besar nilai titik nyala.

3.5. Nilai Kalor



Gambar 5. Grafik hubungan antara nilai kalor *bio-oil* dan berbagai persen katalis terhadap suhu.

Menurut Wibowo dan Hendra (2015) nilai kalor pembakaran menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam tiap satuan massa bahan bakar. Terdapat kecenderungan semakin tinggi suhu pirolisis nilai kalor *bio-oil* semakin tinggi. Perbedaan hasil yang diperoleh disebabkan karena adanya perbedaan jumlah minyak yang terkandung pada buah pinus. Berdasar standar bio – oil yang dikemukakan pada jurnal Mohan (2006), bio – oil hasil penelitian ini sudah memenuhi range standar *bio-oil*. Berdasar penelitian Erawati (2013) nilai kalor *bio-oil* sekitar setengah daripada nilai kalor solar, sehingga *bio-oil* yang dihasilkan bersifat *hydrophilic* dan *immiscible*. Kandungan alkali dalam *bio-oil* dapat menyebabkan korosi.

Tabel 3. Perbandingan Bio – Oil dari Peneliti Terdahulu

Peneliti	Parameter				
	Yield (%)	ρ (gr/ml)	μ (Cp)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)
<i>Bio-oil</i> Standar		0.94 – 1.2	1-8.4	48 – 100	22.5-30.2
Penelitian Ini, 2019 (Kayu Pinus, Katalis Zeolit)	43.77	1.0947	2.940	58	26.045
Firman dkk, 2016 (Kayu Pinus, Katalis Mo/Lempung)	61.89	0.967	6.24585	48	-
Lourentinus (buah pinus)	3.4	-	-	-	35.264
Mohan dkk (2006) (kayu)	64	0.94-1.21	20	45-100	-
Wibowo dan Hendra (2015) (kayu sengon)	43	1.116	-	-	22.420
Erawati (2013) (ampas tebu)	34.16	1.0456	1.4716	-	15
Saputra dkk (2015) (kayu akasia)	69.41	0.938	1.8	55	-

Pada penelitian ini, perolehan yield *bio-oil* tergolong lebih sedikit daripada penelitian oleh Firman (2016), Mohan (2006) dan Saputra dkk (2015), namun lebih banyak dari hasil *bio-oil* penelitian Wibowo dan Hendra (2015), Erawati (2013) dan Lourentinus (2018). Pada penelitian Firman, perolehan yield lebih tinggi dari pada penelitian ini, karena adanya perbedaan katalis yang digunakan. Pada penelitian Firman (2016) menggunakan katalis Mo/Lempung sedangkan pada penelitian ini digunakan katalis zeolit yang diaktivasi hanya menggunakan asam kuat. Selain karena perbedaan katalis, perbedaan bahan baku dan suhu pirolisis menyebabkan hasil pirolisis yang berbeda.

Pada penggunaan katalis yang berbeda, mengakibatkan sifat fisis yang berbeda, pada penelitian ini diperoleh densitas yang lebih tinggi daripada pada penelitian yang dilakukan oleh Firman (2016), Mohan (2006) dan Saputra (2015). Viskositas yang diperoleh pada penelitian ini kecil yaitu 2.94cp namun lebih besar dari penelitian Erawati (2013) dan Saputra dkk (2015). Sedangkan nilai kalor yang diperoleh lebih besar dari penelitian Wibowo dan Hendra (2015) dan Erawati (2013) yaitu 26.045 MJ/gr.

7. Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan bahan baku kayu pinus, dengan menggunakan katalis zeolit yang sudah diaktivasi dengan HCl. Perolehan data untuk penelitian ini berupa yield *bio-oil* dan karakteristik sifat fisika dari *bio-oil* tersebut. Yield tertinggi diperoleh pada katalis 4% dengan suhu 500°C sebesar 43.77%. Karakteristik sifat fisika dan kimia *bio-oil* dengan yield tertinggi pada penelitian ini yaitu densitas 1.094 gr/ml, viskositas 2.96 cP, dan titik nyala 58°C, serta nilai kalor sebesar 26.045 MJ/gr pada suhu operasi 550°C dengan pemberian katalis 4%

Daftar Pustaka (References)

Danarto, 2010, Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit. *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, hlm. 80 - 85.

Erawati, E., Setiawan, W. B., & Mulya, P, 2013, *Karakteristik Bio-Oil Hasil Pirolisis Ampas Tebu*. JKTI, hlm. 47 - 55.

Firman, M. A., Bahri, S., & Khairat, 2016, Pirolisis Biomassa Kayu Pinus (Wood Pine) dengan Katalis Mo/Lempung Menjadi Bio-Oil. *Jom F Teknik*, hlm. 1-10.

Lourentius. S, 2018, Bio-Oil dari Proses Pirolisis Buah Pinus. *Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan*. hlm. 291-300.

Mohan. D. Jr, C. U & Steele. P, 2006, *Pyrolysis Of Wood/ Biomass For Bio-Oil : A Critical Review*. *Energy & Fuels*. hlm. 848-889.

Ramadhani, D. G., Fatimah, N. F., & Sarjono, A. W, 2017, Synthesis of natural Ni/Zeolite activated by acid as catalyst for synthesis biodiesel from ketapang seeds oil, *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, hlm.72-79.

- Saber, M., Nakhshiniev, B., & Yoshikawa, K. A, 2016, review of production and upgrading of algal *bio-oil*. *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, hlm. 918-930.
- Saputra, A., Bahri, S., & Amri, A., 2015, Pirolisis kayu akasia menjadi *bio-oil* menggunakan katalis NiMo/NZA dengan variasi jumlah pengembanan logam dan rasio berat katalis terhadap biomassa. *Jom F Teknik*. hlm. 1-6.
- Suharto, I., 2017, *Bioteknologi dalam Bahan Bakar Nonfosil*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Wibowo, S., & Hendra, J, 2015, *Teknik Pengolahan Bio-Oil dari Bio Massa*. Bogor: IPB Press.