



---

---

## **Pengaruh Temperatur dan Zeolit terhadap Volume dan Nilai Kalor Tar Pada Proses Pirolisis Serbuk Batang Bambu**

**Cornelius Anggunio<sup>1</sup>, Dadang Hermawan<sup>2</sup>, Purbo Suwandono<sup>3</sup>✉**

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama  
Jl. Taman Borobudur Indah No.1, Malang, Indonesia  
✉Corresponding author: purbo@widyagama.ac.id

Diterima Redaksi : 19 Februari 2024  
Selesai Revisi : 30 April 2024  
Diterbitkan Online : 18 Mei 2024

### **Abstract**

*Waste is a problem in Indonesia, both organic and non-organic waste. Bambo powder is an organic waste that can still be utilized to produce energy using the pyrolysis method. The research aims to utilize bambo waste to produce tar using pyrolysis process with temperature variation and with the addition of zeolite. The research method uses 200 g of bambo powder with a moisture content of less than 2% and 40 g of zeolite and a heating process with a duration of 3 hours. The pyrolysis gas was condensed to obtain tar. The research produced the most tar products at a temperature of 550 °C as much as 57 milli and 72 milli in the addition of zeolite. In the pure pyrolysis process, the highest calorific value was obtained at a temperature of 450 °C amounting to 149.27 (cal/g) at the addition of zeolite, the highest calorific value was obtained at a temperature of 550 °C amounting to 248.29 (cal/g). This shows that adding zeolite to the pyrolysis process can increase the amount of tar when compared to pure pyrolysis both in quality and quantity.*

**Keywords:** *Pyrolysis; Zeolite; Bambo powder; Tar; Calorific value.*

### **Abstrak**

Sampah merupakan masalah di Indonesia, baik sampah organik maupun non-organik. Serbuk bambo merupakan sampah organik yang masih dapat di manfaatkan untuk menghasilkan energi menggunakan metode pirolisis. Penelitian bertujuan memanfaatkan limbah bambo untuk menghasilkan tar menggunakan proses pirolisis dengan variasi temperatur dan dengan penambahan zeolite. Metode penelitian menggunakan serbuk bambo sebanyak 200 g dengan kadar air kurang dari 2% dan 40 g zeolit dan di lakukan proses pemanasan dengan durasi 3 jam. Gas hasil pirolisis dikondensasi untuk didapatkan tar. Penelitian menghasilkan produk tar terbanyak di dapatkan pada temperatur 550 °C sebanyak 57 mili dan 72 mili pada penambahan zeolit. Pada proses pirolisis murni di dapatkan nilai kalor tertinggi pada temperatur 450 °C sebesar 149,27 (cal/g) pada penambahan zeolit nilai kalor tertinggi di peroleh pada temperatur 550 °C sebesar 248,29 (cal/g). Hal ini memperlihatkan bahwa dengan menambahkan zeolit pada proses pirolisis dapat meningkatkan jumlah tar bila di dibandingkan dengan pirolisis murni baik kualitas maupun kuantitas.

**Kata kunci:** Pirolisis; Zeolit; Serbuk bambo; Tar; Nilai kalor.

### **1. Pendahuluan**

Sampah adalah masalah utama yang sedang di hadapi kota-kota di Indonesia, yang di hasilkan dari sisa buangan sisa aktifitas masyarakat perkotaan. Penumpukan sampah di perkotaan cenderung meningkat dan tidak terkendali [1]. Hal ini di sebabkan oleh peningkatan jumlah

penduduk yang cepat, ekonomi masyarakat yang semakin berkembang, arus urbanisasi yang tidak bisa di bendung serta gaya hidup masyarakat perkotaan yang cenderung konsumneris [2]. Sampah-sampah tersebut dapat di bedakan dalam 2 jenis yaitu, organik dan anorganik. Sampah organik adalah sampah yang mudah membusuk seperti sisa makanan, sayuran, daun-daun kering, dan sebagainya. Sampah anorganik adalah kebalikan dari sampah organik, jikalau sampah organik mudah membusuk sampah anorganik tidak mudah membusuk ataupun tidak bisa membusuk, seperti plastik wadah pembungkus makanan, plastik mainan, botol gelas minuman, kaleng dan lain sebagainya [3].

Melihat energi yang di dihasilkan sampah begitu besar perlu metode yang efisien serta ramah lingkungan untuk memanfaatkannya. Salah satu metode yang dapat di gunakan yaitu dengan cara pirolisis [4]. Metode pirolisis sering di gunakan untuk mengkonversi sampah untuk menjadi suatu energi. Produk yang di dihasilkan berupa padatan (bio-coal), cair (bio-oil), dan gas (syngas) dengan cara pemanasan di dalam reaktor tanpa adanya oksigen [5].

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan sampah organik hasil dari sisa pemotongan bambu sebagai bahan utama tusuk sate yang di sebut limbah serbuk gergaji. 2 Limbah serbuk gergaji bambu adalah butir serpihan lembut dari proses menggergaji, serbuk-serbuk ini dapat menimbulkan masalah pada penanganannya, yaitu jika di biarkan membusuk, ditumpuk, dan di bakar semua berdampak negatif pada lingkungan [6]. Hal ini yang menjadi latar belakang dari penelitian yang akan dilakukan pengujian isothermal mengenai hasil produk bio-oil yang murni dan yang di variasikan dengan zeolit dan juga variasi temperatur.

Zeolit adalah jenis batuan kristal aluminosilikat (aluminium dan silikat) dengan struktur berpori. Zeolit banyak digunakan karena kemampuannya dalam absorpsi, katalis dan sebagai pertukaran ion. Unsur-unsur logam yang terkandung pada pori-pori zeolit dapat berikatan dengan unsur timbal, sehingga unsur timbal yang terdapat pada gas buang kendaraan bermotor tersebut dapat terserap atau terendapkan oleh unsur-unsur zat aktif pada zeolit. Efektifitas penyerapan pada zeolit tergantung pada zat aktif yang terkandung pada pori-pori zeolit yaitu lebih dari 138,9 mg/g [7].

Dari uraian diatas timbul permasalahan yang menarik untuk diteliti; yaitu: bagaimana hasil volume tar pada proses pirolisis dengan variasi temperatur dan dengan penambahan zeolite?

## **2. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode true experimental research untuk menguji pengaruh variasi temperatur pirolisis terhadap yield tar dan nilai kalor. Pendekatan ini memungkinkan perbandingan hasil antar perlakuan dengan mengontrol variabel-variabel kunci.

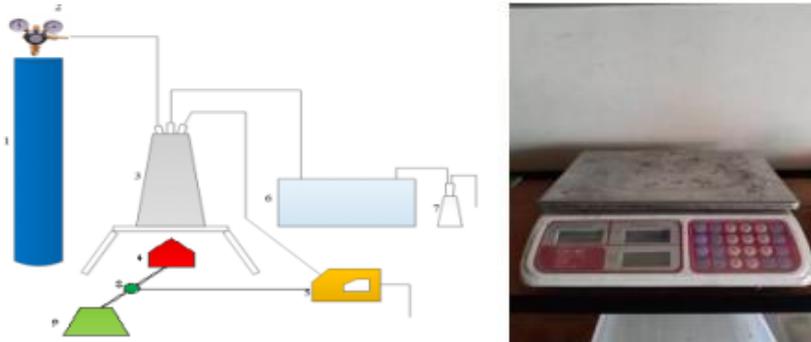
### **Variabel Penelitian**

Variabel bebas meliputi temperatur pirolisis (250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C) serta komposisi bahan (200 g serbuk bambu + 40 g zeolit). Waktu pembakaran dikontrol selama 3 jam untuk semua perlakuan. Adapun variabel terikat adalah volume tar yang dihasilkan dan nilai kalor produk pirolisis. Variabel terkontrol mencakup kadar air serbuk bambu (<2%), aliran nitrogen, dan volume bahan umpan.

### **Bahan dan Alat**

Bahan utama berupa limbah serbuk batang bambu diperoleh dari industri tusuk sate di Desa Dawuhan. Serbuk ini awalnya dibuang secara terbuka dan dikeringkan menggunakan oven hingga kadar air <2% untuk menghilangkan pengaruh kelembaban. Zeolit ditambahkan sebagai katalis [8]. Alat utama meliputi piroliser dilengkapi temperature control, moisture analyzer, flowmeter digital, dan sistem aliran nitrogen. Bagian judul dicetak tebal. Judul yang termasuk sebagai bagian dari judul sebelumnya dicetak sebagai bagian dari paragraf (seperti

bagian sub judul pada paragraf ini). Jangan berikan penomoran halaman pada makalah. Nomor halaman akan diberikan secara otomatis oleh tim editor.



Gambar 1. Instalasi pirolisis (kiri); Timbangan elektrik (kanan)



Gambar 2. Bom calory meter

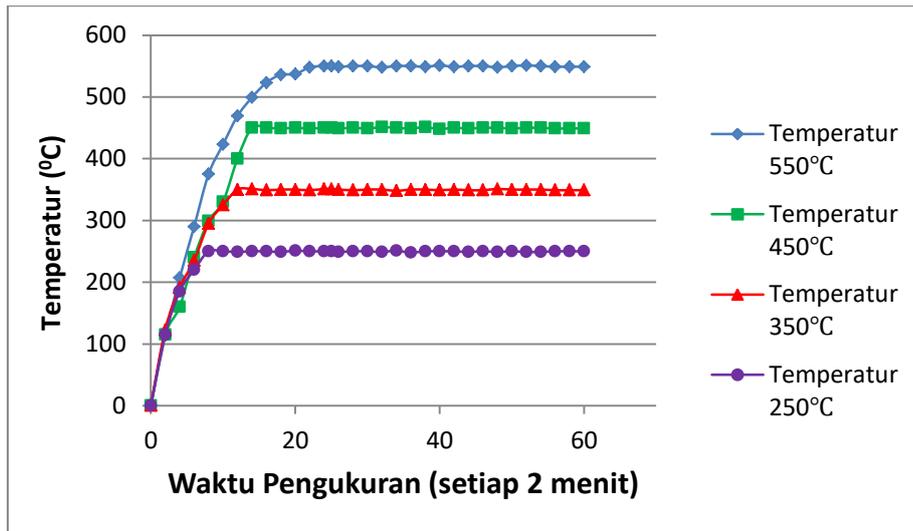
### Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan preparasi bahan baku, di mana limbah serbuk batang bambu yang diperoleh dari industri tusuk sate di Desa Dawuhan dikeringkan terlebih dahulu melalui penjemuran hingga mencapai kadar air di bawah 2%, kemudian divalidasi menggunakan moisture analyzer untuk memastikan tingkat kekeringannya. Setelah kadar air memenuhi syarat, serbuk bambu sebanyak 200 gram dicampur dengan 40 gram zeolit sebagai katalis, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Tahap selanjutnya adalah proses purging dengan mengalirkan gas nitrogen ke dalam reaktor selama 3 menit sambil membuka saluran output untuk memastikan semua oksigen terdesak keluar dan tercipta kondisi anaerob yang optimal. Setelah purging selesai, katup nitrogen ditutup dan reaktor dipanaskan sesuai variasi temperatur penelitian (250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C) selama 3 jam. Selama proses pirolisis berlangsung, laju alir tar/biodiesel yang dihasilkan diamati dan direkam menggunakan flowmeter yang dipantau secara digital. Setelah waktu pirolisis selesai, reaktor dimatikan dan produk tar/biodiesel yang terbentuk dikoleksi untuk dilakukan analisis lebih lanjut terhadap volume dan nilai kalornya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Perubahan Temperatur Saat Proses Pirolisis

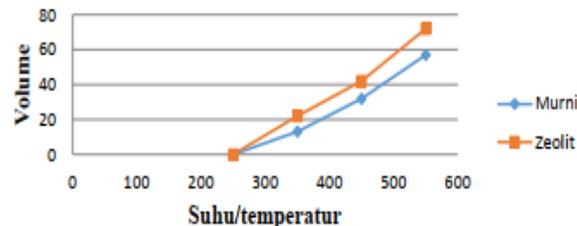
Pada proses pirolisis temperatur pemanasan 250 °C suhu konstan di dapatkan pada menit ke 8, di karenakan suhu 250 °C merupakan suhu yang tergolong rendah, maka akan cepat tercapai suhu konstan. Pada proses pirolisis temperatur 350 °C suhu konstan di dapatkan pada menit ke 12, untuk proses pirolisis temperatur 450 °C di dapatkan suhu konstan pada menit ke 14, dan proses pirolisis dengan suhu 550 °C suhu konstannya di dapatkan pada menit ke 24.



Gambar 3. Perubahan temperatur saat proses pirolisis

Perubahan temperatur cenderung konstan dan normal menandakan proses pirolisis berjalan dengan normal. Pada proses pirolisis ini berlangsung selama 3 jam dengan pengamatan setiap 2 menit, temperatur di kontrol melalui solenoid yang terhubung dengan temperatur controller menggunakan sensor thermocouple yang terletak pada tabung piroliser untuk membaca suhu di dalam tabung. Panas yang di hasilkan untuk pirolisis ini berasal dari kompor gas yang bertekanan, yang di atur oleh regulator. Regulator dan solenoid menjadi satu rangkaian, sehingga ketika suhu belum tercapai pada temperatur setting, maka solenoid akan tetap terbuka mengakibatkan api tetap besar dan terus memanaskan piroliser sampai suhu tercapai. Dan jika suhu sudah tercapai maka solenoid akan menutup.

### Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Liquid Product



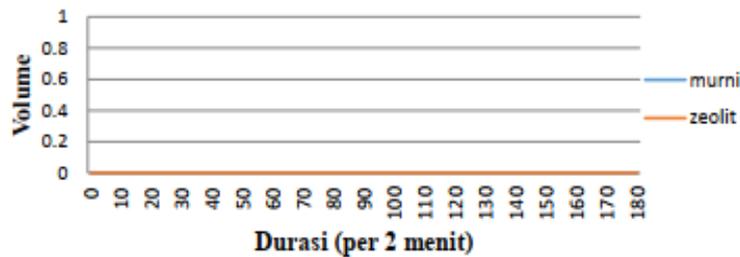
Gambar 4. Hubungan antara volume akhir dan temperature

Gambar di atas adalah proses perolehan volume akhir pada proses pirolisis murni dan dengan campuran zeolit, kita dapat lihat pada temperatur 250 OC dari perbandingan tersebut tidak menghasilkan tar sama sekali di karenakan panas belum mampu untuk melakukan pirolisis atau dekomposisi zat pada biomassa. Hanya mampu menguapkan sebagian air yang terkandung pada biomassa dan sedikit gas, dikarenakan pada saat sebelum dilakukan proses pirolisis biomassa mendapatkan perlakuan pengurangan kadar air. Dan juga dikarenakan suhu yang terlalu rendah, sehingga tidak mampu melakukan pirolisis atau dekomposisi zat pada biomassa dengan baik [9].

Dan pada variasi temperatur 350 OC, 450 OC, 550 OC sudah mengasilkan tar, namun pada setiap variasi temperatur, volume tidaklah sama di karenakan semakin tinggi temperatur, maka proses dekomposisi kimia berjalan lebih baik dan mendapatkan hasil Tar lebih maksimal dapat dilihat pada gambar 5. Pada perbandingan kedua tersebut perolehan setiap

variasi semua menunjukkan volume akhir pirolisis lebih banyak yang menggunakan campuran zeolit. Pada temperatur 350 0C memperoleh tar 13 mili dan 22 mili dengan campuran zeolit, pada temperatur 450 0C memperoleh tar 32 mili dan 42 mili dengan campuran zeolit, pada temperatur 550 0C 57 mili dan 72 mili dengan campuran zeolit. Mengapa proses pirolisis yang menggunakan zeolit lebih banyak menghasilkan tar, di karenakan zeolit memiliki sifat mudah melepas air ketika dipanaskan, tetapi dapat dengan mudah mengikat air pada udara lembab [4].

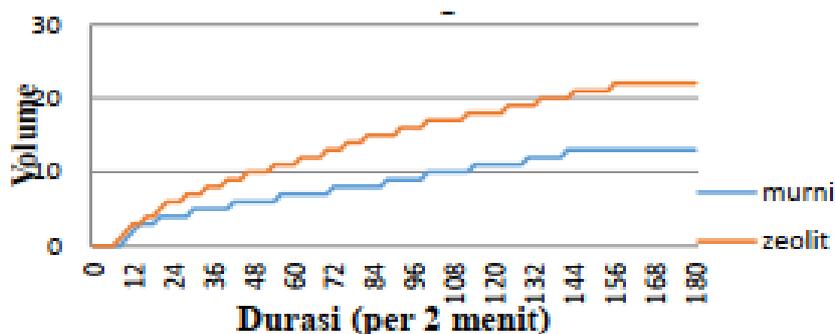
### Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Liquid Product pada Temperatur 250 °C



Gambar 5. Perbandingan antara volume dengan waktu pada temperatur 250 °C (Murni dengan Zeolit)

Pada temperatur 250 oC ini panas belum mampu untuk melakukan pirolisis atau dekomposisi zat pada biomassa. Hanya mampu menguapkan sebagian air yang terkandung pada biomassa dan sedikit gas , dikarenakan pada saat sebelum dilakukan proses pirolisis biomassa mendapatkan perlakuan pengurangan kadar air. Dan juga dikarenakan suhu yang terlalu rendah sehingga belum mampu melakukan pirolisis atau dekomposisi zat pada biomassa dengan baik

### Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Liquid Product Pada Temperatur 350 °C



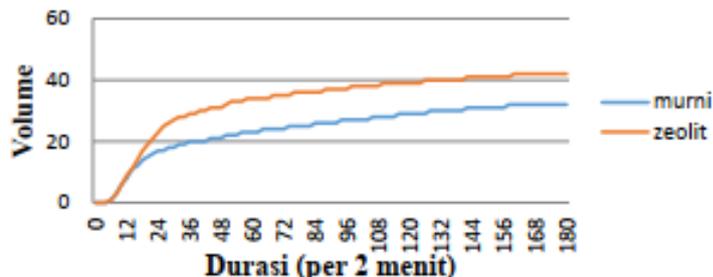
Gambar 6. Perbandingan antara volume dengan waktu pada temperatur 350°C (Murni dengan Zeolit)

Gambar diatas merupakan pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume liquid product dengan variasi temperatur 350 °C. Waktu penelitian 3 jam dengan pengamatan penambahan tar per 2 menit menggunakan biomassa serbuk batang bambu 200 gram. Dan juga dengan penambahan Zeolit 20% dari berat biomassa (40gram).

Dari gambar diatas menunjukkan tar pertama didapatkan pada menit ke 10 pada prolisis serbuk batang bambu murni dengan suhu temperatur 325 0C, dan pada menit ke-8 pada proses pirolisis serbuk bambu dengan penambahan zeolit pada suhu temperatur 295 0C. Perolehan Tar tidak dapat terus menerus secara konstan, namun memiliki jeda yang berbeda-beda hingga akhir proses pirolisis berlangsung. hal ini dikarenakan naik turunnya temperatur yang diatur

oleh solenoid melalui pembaca suhu thermocouple yang diletakkan didalam tabung piroliser, sehingga suhu yang ada dalam tabung piroliser tidak konstan naik terus dan memerlukan waktu yang lebih lama untuk melakukan dekomposisi bio-massa dalam tabung piroliser. Dan juga gambar di atas didapatkan perbandingan volume dengan penambahan zeolit menghasilkan Tar lebih banyak daripada yang murni.

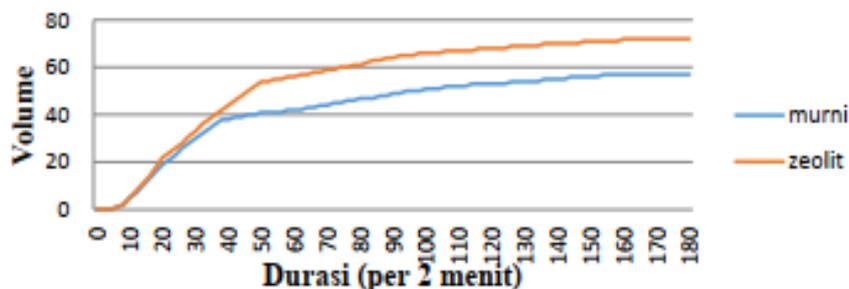
#### **Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Liquid Product Pada Temperatur 450 °C**



Gambar 7. Perbandingan antara volume dengan waktu pada temperatur 450 °C (Murni dengan Zeolit)

Dari gambar di atas dapat kita ketahui bahwa hasil volume perbandingan pirolisis serbuk batang bambu murni dengan penambahan zeolit di dapatkan hasil lebih banyak daripada variasi suhu sebelumnya dan juga dengan penambahan zeolite hasil volume akhir lebih banyak dari pada proses murni atau tanpa adanya penambahan zeolit. Dan juga semakin tinggi suhu temperatur, maka semakin banyak Tar yang di dihasilkan.

#### **Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Liquid Product Pada Temperatur 550 °C**

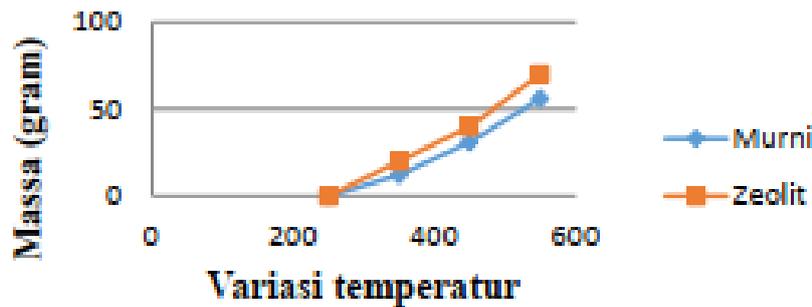


Gambar 8. Perbandingan Antara Volume Dengan Waktu Pada Temperatur 550 °C (Murni dengan Zeolit)

Dari gambar diatas dapat kita ketahui volume terbanyak hasil pirolisis terdapat pada temperatur 550 °C. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi temperatur, maka semakin banyak komponen-komponen biomassa yaitu, selulosa, hemiselulosa dan lignin, namun pada temperatur 550 °C ini zat terbanyak yang terdekomposisi adalah selulosa dan hemiselulosa, sehingga mendapatkan perolehan hasil tar paling banyak. Dan juga dapat kita ketahui bahwa hasil volume pirolisis lebih banyak yang menggunakan penambahan zeolit di dibandingkan dengan yang murni atau tanpa adanya penambahan zeolite [10].

#### **Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Liquid Product**

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda, semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Mengapa hasil volume tar tidak sama dengan massa (gram), dikarenakan berat jenisnya berbeda.



Gambar 9. perbandingan massa Tar setiap variasi temperatur

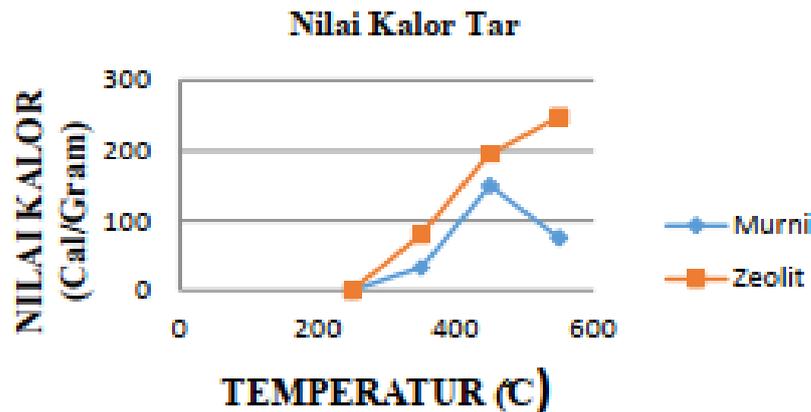
Massa jenis untuk proses pirolisis murni temperatur 250 0C adalah 0 karena pada proses pirolisis tidak menghasilkan tar sama sekali begitu juga dengan penambahan zeolit, pada temperatur 350 0C adalah 0,923 Kg/m<sup>3</sup> dan 0,931 kg/m<sup>3</sup> pada campuran zeolit, pada temperatur 450 0C adalah 0,968 Kg/m<sup>3</sup> dan 0,952 Kg/m<sup>3</sup> pada campuran zeolit, pada temperatur 550 0C adalah 0,991 Kg/m<sup>3</sup> dan 0,979 Kg/m<sup>3</sup> pada campuran zeolit.

### Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor TAR

Tabel 1. Nilai kalor hasil pirolisis serbuk batang bambu

No	Suhu	Nilai kalor murni (cal/gram)	Nilai kalor zeolite (cal/gram)	Standart Benzoid Kalibrasi
1	250	0	0	2,425,656
2	350	33,102,836	8,029,446,153	
3	450	1,492,653,077	1,952,640,678	
4	550	7,573,911,111	2,482,917,143	

Tabel diatas merupakan pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor tar dengan variasi temperatur 250°C, 350°C, 450°C, 550°C. Dengan waktu penelitian 3 jam dengan biomassa serbuk batang bambu 200 g dan 40 g zeolit. Dari gambar di atas variasi temperatur 250 °C dari kedua proses pirolisis tersebut sama-sama tidak memperoleh tar di karenakan pada proses pirolisis dengan variasi temperatur 250 0C panas tersebut belum mampu mendekomposisi biomassa dengan baik, hanya menghasilkan sedikit gas dan char. Di dapatkan perbedaan antara proses murni dan proses dengan adanya penambahan zeolite pada tabel di atas dapat di nyatakan bahwa hasil nilai kalor dari tiap-tiap variasi temperatur memang lebih tinggi yang dengan adanya penambahan zeolit. Pada variasi temperatur 350 0C nilai kalor murni (33,10 cal/g) dan (80,29 cal/g) untuk zeolit, pada temperatur 450 0C nilai kalor murni (149,27 cal/g) dan (195,26 cal/g) untuk zeolit, pada variasi temperatur tertinggi yaitu 550 0C di dapatkan juga hasil yang sama dengan temperatur sebelumnya yaitu (75,74 cal/g) murni dan (248,29 cal/g) untuk zeolit.



Gambar 10. Pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor tar

Pada proses pirolisis murni menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur, maka nilai kalor tar yang dihasilkan akan semakin meningkat sampai batas maksimal. Berikut penjelasannya pada suhu 300 oC sampai 450 oC dekomposisi selulosa dan hemiselulosa yang memiliki karakteristik dapat menghasilkan cairan yang lebih banyak, hasil cairan ini termasuk tar, sehingga pada puncak 450 oC (149,27 cal/gram) tar lebih banyak didapatkan daripada uap air, maka tar yang memiliki karakteristik bensol lebih besar daripada zat lainnya. Demikian juga dengan penambahan katalis zeolit hasil terbaik atau tertinggi nilai kalor terdapat pada suhu 550 0C dengan nilai kalor (248,29 cal/gram). Pada proses pirolisis dengan campuran zeolit nilai kalor tertinggi pada temperatur 550 0C (248,29 cal/gram) dan pada proses pirolisis murni di dapatkan pada temperatur 450 0C (149,27 cal/gram) di karenakan zeolit mempunyai sifat karakteristik memberikan perambatan suhu yang cepat dan stabil pada biomassa, dan mampu memecahkan jaringan pada lignin, sehingga mampu terdekomposisi dan menghasilkan Tar dan nilai kalor tertinggi baik dari variasi temperatur sebelumnya maupun perbandingan nilai kalor dengan proses pirolisis murni

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai proses pirolisis serbuk batang bambu, dapat disimpulkan bahwa temperatur reaksi dan penggunaan campuran zeolit memiliki pengaruh signifikan terhadap volume tar yang dihasilkan serta nilai kalor dari tar tersebut. Pada temperatur rendah, yaitu 250°C, baik pirolisis murni maupun yang dicampur dengan zeolit belum mampu menghasilkan tar, karena suhu tersebut belum cukup untuk mendekomposisi material bambu secara efektif. Namun, seiring dengan peningkatan temperatur, volume tar yang dihasilkan meningkat secara bertahap. Pada temperatur 350°C, pirolisis murni menghasilkan tar sebanyak 13 mL, sedangkan dengan penambahan zeolit meningkat menjadi 22 mL. Tren ini berlanjut pada temperatur 450°C, di mana pirolisis murni menghasilkan 32 mL dan pirolisis dengan zeolit mencapai 42 mL. Puncak produksi tar terjadi pada temperatur 550°C, dengan hasil sebesar 57 mL untuk pirolisis murni dan 72 mL untuk pirolisis dengan campuran zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan zeolit secara konsisten meningkatkan volume tar yang dihasilkan pada setiap variasi temperatur, serta menunjukkan bahwa zeolit berperan dalam mempercepat atau meningkatkan efisiensi proses dekomposisi termal.

Selain volume tar, nilai kalor dari tar yang dihasilkan juga menunjukkan peningkatan dengan adanya penambahan zeolit. Pada temperatur 350°C, nilai kalor tar dari pirolisis murni adalah 33,10 cal/g, sedangkan pada pirolisis dengan zeolit meningkat drastis menjadi 80,29 cal/g. Pada temperatur 450°C, nilai kalor mencapai 149,27 cal/g untuk pirolisis murni dan

meningkat menjadi 195,26 cal/g pada campuran zeolit. Bahkan pada temperatur 550°C, meskipun nilai kalor dari pirolisis murni menurun menjadi 75,74 cal/g, pirolisis dengan zeolit justru menunjukkan peningkatan signifikan hingga mencapai 248,29 cal/g. Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan zeolit tidak hanya meningkatkan volume tar, tetapi juga kualitas energi yang dikandungnya.

### Daftar Pustaka

- [1] R. M. Mulyadin, K. Ariawan, and M. Iqbal, "Conflict of Waste Management in DKI Jakarta and Its Recommended Solutions," *J. Anal. Kebijak. Kehutan.*, vol. 15, no. 2, pp. 179–191, 2018.
- [2] M. Z. Elamin and others, "Analysis of Waste Management in The Village of Disanah, District of Sreseh Sampang, Madura," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 10, no. 4, p. 368, 2018.
- [3] T. Badlisyah, S. Agustinur, and M. Rosa, "STUDY Pengolahan Sampah Organik dan Anorganik pada Unit Bank Sampah Badan Usaha Milik Gampong (BUMG) Blang Krueng," *Lantanida J.*, vol. 9, no. 2, 2021.
- [4] D. C. Kumara, W. Wijayanti, and D. Widhiyanuriyawan, "Pengaruh Penggunaan Katalis (Zeolit) Terhadap Kinetik Rate Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (*Switenia Macrophylla*)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 19–25, 2015.
- [5] S. Gatot and others, "Pengaruh temperatur dan penambahan zeolite terhadap nilai kalor volume tar pirolisis serbuk kayu sengon," *J. tidak disebutkan*, vol. 12, no. 1, pp. 20–27, 2020.
- [6] D. A. Imawanto, "Optimasi kondisi sampah bambu guna mendapatkan energi terbesar," *Buana Sains*, vol. 12, no. 2, pp. 35–38, 2012.
- [7] M. Sutarti and M. Rachmawati, *Zeolit Tinjauan Literatur*. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, 1994.
- [8] S. Sivasangar, "Screening of modified CaO-based catalysts with a series of dopants for the supercritical water gasification of empty palm fruit bunches to produce hydrogen," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 46, pp. 36798–36808, 2015, doi: 10.1039/c5ra03430b.
- [9] F. Kasim, M. K. Ridwan, and M. Y. A. Putra, "Pengolahan sampah plastik memakai teknologi pirolisis untuk pembelajaran dan konservasi lingkungan di pondok pesantren al-anwar sarang rembang, jawa tengah," *J. Bakti Saintek J. Pengabd. Masy. Bid. Sains Dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, pp. 57–63, 2018.
- [10] C. Saka, "BET, TG–DTG, FT-IR, SEM, Iodine Number Analysis and Preparation of Activated Carbon From Acorn Shell by Chemical Activation With ZnCl<sub>2</sub>," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2012, doi: 10.1016/j.jaap.2011.12.020.