

## Pengaruh Komposisi Campuran Kayu terhadap Karakteristik Arang yang Dihasilkan dari Proses Torefaksi Berbagai Jenis Kayu Hutan Tanaman Industri

AMRUL, AHMAD ZIKAUTSAR RAGDAN MAJDI, HADI PRAYITNO, HARMEN

### ABSTRACT

Torrefaction treatment improves the properties of woody biomass as a fuel such as lower moisture content, higher calorific value, higher energy density, hydrophobic, and better grindability. The characteristics of biochar produced by wood torrefaction are determined through laboratory analysis such as calorific value, proximate and ultimate analysis. The wood mixture composition is one of the main parameters affecting the biochar characteristics. This study aims to identify the effect of the wood mixture composition on biochar. Torrefaction experiments were carried out on three types of industrial forest timber (AC, CC, and EP) as an individual and as a mixture with a ratio of 1:1:1. The experiments were conducted in a lab-scale tubular continuous reactor at temperatures of 250, 275, and 300°C for 30 minutes. Characteristics of the biochar from various mixtures were obtained through simulation based on the ultimate analysis of each wood sample. As the result, the calorific value of biochar from the simulation is slightly different from the laboratory analysis value, with a variance of less than 5%. The highest calorific value of 6085 kcal/kg was found for the wood mixture composition (AC, CC, and EP) with a ratio of 1:2:1 at 300°C.

**Keywords:** torrefaction, wood mixture, biochar

### PENDAHULUAN

Biomassa merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan dan merupakan sumber energi yang melimpah. Biomassa yang digunakan langsung sebagai bahan bakar masih memiliki kadar air, zat volatil, densitas energi serta nilai kalor yang rendah (Hasna, 2019). Perlakuan awal (*pretreatment*) yang tepat diperlukan untuk memanfaatkan potensi bahan bakar biomassa lebih optimal. Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar padat yang bernilai kalor tinggi adalah torefaksi.

Torefaksi merupakan suatu proses termokimia pada temperatur 200-300°C pada tekanan atmosfer tanpa adanya oksigen. Hasil dari torefaksi dapat berupa padatan dan gas (Amrul, 2014). Proses torefaksi mengurangi atau menghilangkan komponen zat volatil yang tidak diinginkan. Parameter utama torefaksi yang mempengaruhi karakteristik produk

torefaksi adalah temperatur dan waktu tinggal, dan jenis biomassa itu sendiri (Basu, 2018).

Biomasa kayu merupakan jenis biomassa yang paling banyak digunakan sebagai bahan bakar (Hady, M). Biomassa kayu merupakan salah satu produk HTI (Hutan Tanaman Industri). HTI merupakan perkebunan kayu skala besar yang ditanam dan dipanen untuk kebutuhan industri. HTI menyumbang sepertiga produksi kayu industri di dunia pada tahun 2012 (Pirard, 2016). HTI dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu penghasil kayu energi, kayu bubur dan kayu pertukangan [6]. HTI penghasil kayu energi ditanam dengan jenis kayu dengan daur 3-8 tahun. Kayu AC, CC, dan EP merupakan jenis kayu yang ditanam di HTI.

Kayu ditanam secara acak, sehingga pada masa panen semua jenis kayu tercampur. Hal tersebut terjadi akibat saat ini sistem pemanenan kayu yang paling banyak digunakan adalah sistem semi-mekanis. Sistem semi-mekanis menggunakan tenaga manusia yang dibantu oleh mesin, sehingga melakukan tebang pilih

saat proses panen membutuhkan waktu yang lama dan biaya besar (Notohadiningrat, 2016).

Kayu energi yang dihasilkan HTI memiliki jenis kayu berbeda-beda seperti *AC*, *CC*, dan *EP*. Ketiga jenis kayu tersebut tercampur saat proses panen. Campuran kayu akan menghasilkan karakteristik yang berbeda saat torefaksi dibandingkan dengan torefaksi satuan. Campuran kayu ini harus memiliki komposisi yang tepat agar didapat bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi dan memiliki karakteristik bahan bakar yang baik.

## METODE PENELITIAN

Pengujian torefaksi menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas selimut oli (*oil jacket heating system*). Sumber pemanasan diperoleh dari pembakaran LPG. Pengujian torefaksi dilakukan pada temperatur 250, 275, dan 300°C dengan waktu tinggal 30 menit serta massa sampel umpan 2 kg. Parameter yang diukur adalah waktu tinggal dan temperatur torefaksi.

Biomassa yang digunakan sebagai sampel pengujian adalah kayu *AC*, *CC*, *EP* dan kayu campuran (*AC-CC-EP*) komposisi 1:1:1. Produk torefaksi yang dihasilkan dari berbagai jenis kayu tersebut, baik kayu tunggal maupun campuran, selanjutnya ditentukan nilai kalor, analisis proksimat, ultimat.

Penelitian dilakukan untuk memprediksi nilai kalor kayu campuran dengan komposisi yang baik. Dalam penelitian ini dihitung sebanyak tujuh model komposisi. Perhitungan nilai kalor kayu campuran dilakukan dengan pendekatan model matematika sederhana. Nilai kalor masing-masing ditentukan menggunakan persamaan empirik yang sudah ada, yaitu persamaan Beckman dan Dulong. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai kalor kayu campuran.

Rumus A:

$$HHV_{mix} = \sum_{i=1}^n [0,352C + 0,9443H + 0,105(S - 0)]_i x_i \quad (1)$$

Rumus B:

$$HHV_{mix} = \sum_{i=1}^n [349,1C + 1178,3H + 100,5S - 103,40 - 15,1N - 21,1ASH]_i x_i \quad (2)$$

Dimana:

$HHV_{mix}$  = Nilai kalor biomassa campuran, kJ/kg

$x_i$  = Komposisi komponen biomassa dalam perhitungan komposisi biomassa campuran, %

Pers. (1) adalah persamaan untuk menghitung nilai kalor bio-oil menggunakan komposisi kimia yang ditemukan oleh Beckman pada tahun 1990 [(Dahlquist, 2013). Sementara Pers. (2) adalah persamaan Dulong untuk menghitung nilai kalor bahan bakar berdasarkan persamaan empirik (Basu, 2018).

Komposisi campuran kayu yang diuji terdiri dari tujuh model, seperti ditunjukkan oleh Tabel 1. Model komposisi dipilih sedemikian rupa yang bisa mewakili berbagai campuran kayu. Dari tujuh model tersebut, model komposisi 1 (1:1:1) diuji melalui eksperimen, sedangkan untuk model yang lainnya ditentukan melalui perhitungan.

TABEL 1. Model Komposisi Campuran

Model komposisi	Jenis Kayu		
	<i>AC</i>	<i>CC</i>	<i>EP</i>
1	33.3	33.3	33.3
2	25	50	25
3	50	25	25
4	25	25	50
5	30	40	30
6	40	20	40
7	30	30	40

Perhitungan nilai kalor dilakukan menggunakan data komposisi kimia kayu satuan hasil uji ultimat seperti ditunjukkan oleh Tabel 2. Hasil uji ultimat diperoleh dari eksperimen torefaksi kayu satuan untuk masing-masing jenis, yaitu *AC*, *CC*, *EP*. Nilai kalor hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian. Model komposisi yang dibandingkan hanya model komposisi 1:1:1. Nilai kalor yang diperoleh dari perhitungan berbagai model komposisi ini dijadikan dasar untuk memprediksi nilai kalor tertinggi. Selanjutnya, model komposisi yang memberikan nilai kalor tertinggi dianggap sebagai komposisi terbaik.

TABEL 2. Hasil Uji Ultimat Kayu Tunggal

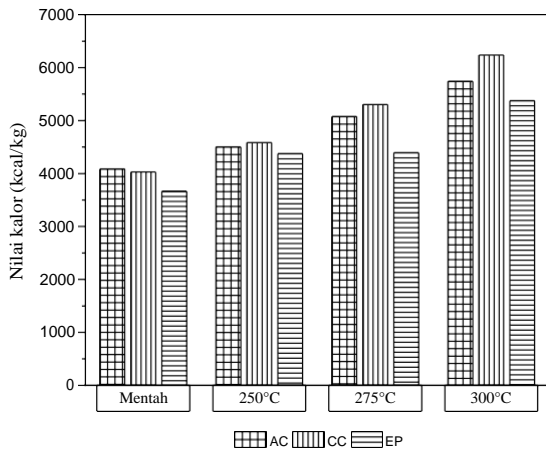
Jenis Sampel	Temperatur (°C)	Adb (%)				
		C	H	N	S	O
AC	250	48.82	6.43	0.48	0.03	42.67
	275	53.8	6.27	0.54	0.028	37.46
	300	59.87	5.94	0.56	0.032	29.74
CC	250	49.97	6.28	0.63	0.05	41.43
	275	56.17	6.08	0.7	0.036	35.14
	300	66.39	5.36	0.87	0.032	23.79
EP	250	48.1	6.41	0.11	0.013	44.95
	275	48.15	6.37	0.12	0.02	44.96
	300	57.27	5.87	0.14	0	35.61

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai kalor yang didapat dari hasil pengujian dibandingkan dengan nilai kalor hasil perhitungan menggunakan rumus empirik pada kayu campuran komposisi 1:1:1.

Nilai Kalor Produk Torefaksi

Hasil pengujian menunjukkan kenaikan nilai kalor seiring dengan kenaikan temperatur seperti pada Gambar 1.

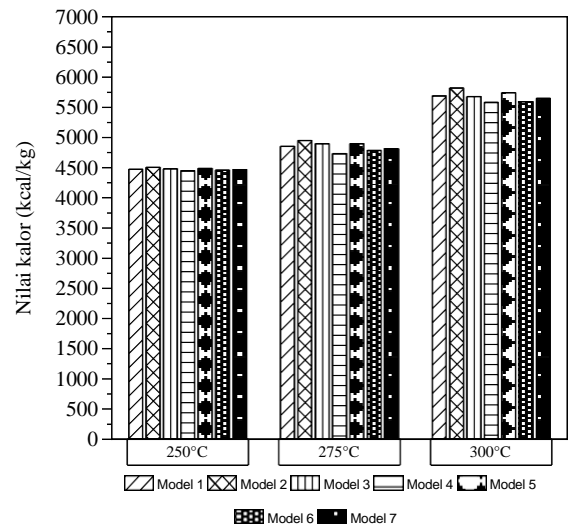


GAMBAR 1. Grafik nilai kalor produk torefaksi satuan.

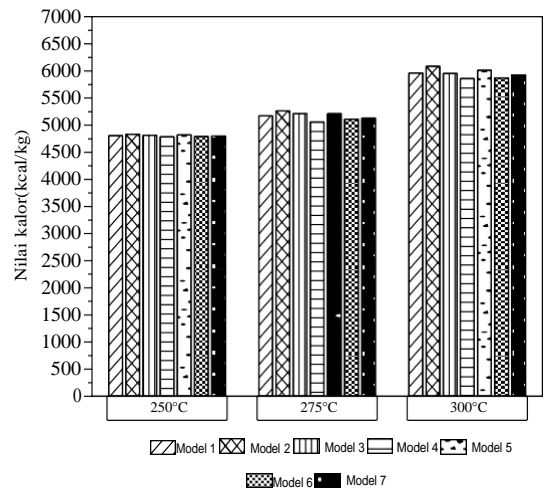
Kayu AC memiliki nilai kalor pada kondisi mentah tertinggi yaitu sebesar 4087 kcal/kg, sedangkan jenis kayu EP memiliki nilai kalor terendah yaitu sebesar 3666 kcal/kg. Nilai kalor tertinggi terjadi pada temperatur 300°C jenis kayu CC yakni sebesar 6237 kcal/kg.

Perhitungan Nilai Kalor Kayu Campuran

Hasil perhitungan nilai kalor (HHV) untuk semua model komposisi campuran kayu diberikan pada Gambar 2. Nilai HHV produk torefaksi sampel satuan yang diperoleh dari hasil pengujian digunakan sebagai dasar perhitungan nilai kalor (HHV) model komposisi campuran.



(a)



(b)

GAMBAR 2. Grafik hasil perhitungan nilai kalor model komposisi campuran (a) Rumus A, (b) Rumus B.

Hasil perhitungan menunjukkan nilai kalor tertinggi diperoleh pada temperatur 300°C dan pada komposisi campuran Model 2. Komposisi campuran Model 2 pada temperatur 300°C memiliki nilai kalor tertinggi, diikuti Model 5 dan Model 1. Komposisi campuran Model 2 dan Model 5 memiliki kesamaan, yaitu jumlah komposisi kayu CC paling besar.

*Perbandingan Komposisi Kimia Perhitungan dan Pengujian*

Hasil pengujian dan perhitungan komposisi kimia terdapat perbedaan fraksi massa atom seperti ditunjukkan Tabel 3. Atom C perbedaan terbesar terjadi pada temperatur 250°C yaitu 3% dan perbedaan terkecil terjadi pada temperatur 300°C yakni sebesar 0,06%.

Pada atom H perbedaan terbesar terjadi pada temperatur 275°C yaitu sebesar 3,2% dan perbedaan terkecil terjadi pada temperatur 250°C yakni 0,9%. Atom S merupakan atom yang memiliki perbedaan terbesar dari semua jenis atom yaitu sebesar 40% pada temperatur 275°C sedangkan pada temperatur 250 dan 300°C nilai perbedaannya sebesar 19,23%. Pada atom O perbedaan terbesar terjadi pada temperatur 300°C yaitu sebesar 3,73% dan terkecil yakni sebesar 1,29% pada temperatur 275°C.

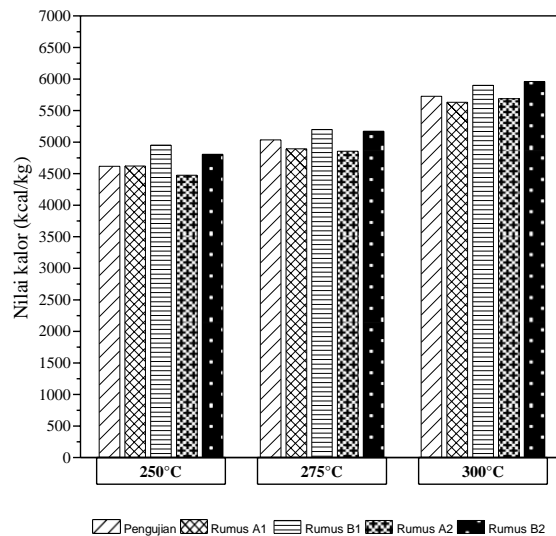
TABEL 3. Perbandingan komposisi kimia perhitungan dan pengujian satuan

Uji Ultimat	Pengujian			Perhitungan		
	250° C	275° C	300° C	250° C	275° C	300° C
C	50.4	53.4	61.0	48.9	52.6	61.1
H	6.31	6.04	5.6	6.37	6.23	5.72
N	0.34	0.42	0.5	0.41	0.45	0.52
S	0.02 6	0.02 6	0.02 6	0.03 1	0.02 8	0.02 1
O	41.8 8	38.6 4	30.8 3	42.9 7	39.1 4	29.6 8

*Perbandingan Nilai Kalor Perhitungan dan Pengujian*

Gambar 3 menunjukkan perbandingan nilai kalor (HHV) hasil pengujian dan hasil perhitungan produk torefaksi kayu campuran dengan komposisi 1:1:1. Perhitungan dilakukan menggunakan 2 rumus dan 2 jenis data komposisi kimia. Rumus A1 dan B1 menggunakan komposisi kimia pengujian sedangkan rumus A2 dan B2 menggunakan komposisi kimia hasil perhitungan. Nilai kalor hasil pengujian dan perhitungan terdapat kesamaan, yaitu nilai kalor meningkat seiring dengan kenaikan temperatur.

Nilai kalor perhitungan menggunakan rumus A atau persamaan Beckman mendekati nilai kalor hasil pengujian dengan selisih 0,1-4%. Perhitungan dikatakan valid karena selisih kurang dari 5%. Terdapat perbedaan antara nilai kalor hasil pengujian dengan nilai kalor hasil perhitungan. Perbedaan nilai kalor pengujian dan perhitungan merupakan hal wajar karena hasil dari teori tidak akan sama seperti pengujian. Perbedaan nilai kalor perhitungan dan pengujian berbeda dapat disebabkan karena komposisi kimia yang digunakan untuk perhitungan berbeda dengan komposisi aktual dan adanya perbedaan kondisi lingkungan saat pengujian dengan kondisi lingkungan pada literatur. (Novita, 2018).



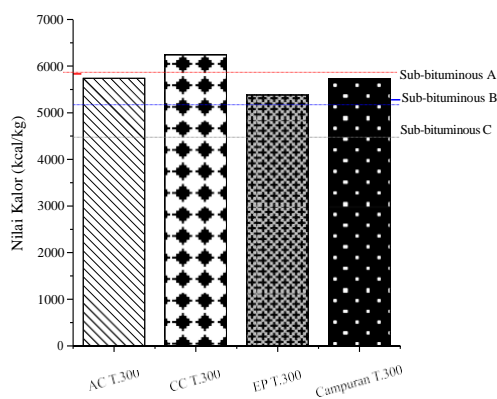
GAMBAR 3. Grafik perbandingan nilai kalor pengujian dan perhitungan.

*Perbandingan Nilai Kalor Perhitungan dan Pengujian*

Produk torefaksi biomassa kayu memiliki nilai kalor tertinggi pada temperatur 300°C untuk semua jenis sampel. Nilai kalor produk torefaksi sampel kayu berkisar 5367-6237

kcal/kg. Produk torefaksi biomassa dapat dibandingkan dengan klasifikasi batubara standar ASTM D-388 seperti pada Gambar 4.

AC. pada temperatur 300°C setara dengan batubara sub-bituminous B (5282-5831 kcal/kg). dengan nilai kalor sebesar 5740 kcal/kg. CC. pada temperatur 300°C merupakan produk torefaksi dengan nilai tertinggi setara dengan sub-bituminous A dengan nilai kalor 6237kcal/kg. EP pada temperatur 300°C setara dengan batubara sub-bituminous B dengan nilai kalor sebesar 5367 kcal/kg. Produk torefaksi kayu campuran dengan komposisi 1:1:1 memiliki nilai kalor 5725 kcal/kg setara dengan batubara sub-bituminous B.



GAMBAR 4. Grafik Perbandingan nilai kalor produk torefaksi dan batubara.

### KESIMPULAN

Nilai kalor bahan bakar padat produk torefaksi kayu campuran AC., CC., dan EP dengan komposisi 1:1:1 pada temperatur 250, 275, dan 300°C berturut sebesar 4616 kcal/kg, 5033 kcal/kg, dan 5725 kcal/kg setara dengan batubara sub-bituminous standar ASTM D388, bahan bakar padat kayu campuran nilai kalor tinggi didapat pada campuran kayu dengan fraksi massa kayu CC paling besar pada model komposisi 2 dengan komposisi 1:2:1 pada temperatur 300°C sebesar 6084,79 kcal/kg menggunakan perhitungan, nilai kalor bahan bakar padat kayu campuran hasil perhitungan menggunakan persamaan Dulong dan Beckman mendekati nilai kalor hasil pengujian dengan selisih 4% menggunakan persamaan Dulong dan 1% menggunakan persamaan Beckman.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu kegiatan penelitian ini, yaitu kerja sama penelitian torefaksi antara Fakultas Teknik Universitas Lampung dengan PT MHL.

### DAFTAR PUSTAKA

- Hasna, A. H., Sutapa, J. P. G., & Irawati, D. (2019). Pengaruh Ukuran Serbuk dan Penambahan Tempurung Kelapa Terhadap Kualitas Pelet Kayu Sengon. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13(2), 170. <https://doi.org/10.22146/jik.52428>
- Amrul, (2014). Pemanfaatan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara Melalui Proses Torefaksi. Disertasi Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Basu, P. (2018). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction Practical Design and Theory. In R. zanol (Ed.), *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction* (Third).
- Hady, M., Zam, A., & Putranto, B. (n.d.). *KARAKTERISTIK PELLET KAYU GMELINA ( Gmelina arborea Roxb .)*. 1–7.
- Pirard R., Petit H., & Baral H. (2016). Dampak Hutan Tanaman Industri di Indonesia: Analisis Persepsi Masyarakat Desa di Sumatera, Jawa dan Kalimantan. In *Dampak Hutan Tanaman Industri di Indonesia: Analisis Persepsi Masyarakat Desa di Sumatera, Jawa dan Kalimantan*. <https://doi.org/10.17528/cifor/006137>
- Notohadiningrat, T. (2006). Hutan tanaman industri dalam tataguna sumberdaya lahan. *Repro*, 3, 1–9. <http://soil.blog.ugm.ac.id/files/2006/11/1992-Hutan-tanaman>.
- Yuniawati. (2013). Pengaruh Pemanenan Kayu Terhadap Potensi Karbon Tumbuhan Bawah Dan Serasah Di Lahan Gambut ( Studi Kasus di Areal HTI Kayu. *Jurnal Hutan Tropis*, 1(1), 1–5.
- Dahlquist, E. (2013). Technologies for Converting Biomass to Useful Energy
- Novita, D. M., & Damanhuri, E. (2010).

Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan  
Komposisi Dan Karakteristik Sampah  
Perkotaan Di Indonesia Dalam Konsep  
Waste To Energy. Jurnal Teknik  
Lingkungan, 16(2), 103–115.  
<http://journals.itb.ac.id/index.php/jtl/article/view/8179>

---

PENULIS:

Dr. Amrul, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Email: amrul@eng.unila.ac.id

Ahmad Zikautsar Ragdan Majdi, S.T.

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Email: zikautsarragdanmaj@gmail.com

Hadi Prayitno, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Email: hadi.prayitno@eng.unila.ac.id

Dr. Harmen, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Email: harmen.1969@eng.unila.ac.id