

# Evaluasi Prediksi *Higher Heating Value* (HHV) Biomassa Berdasarkan Analisis Proksimat

(masuk/received 2 Januari 2020, diterima/accepted 5 April 2020)

## *Evaluation of Biomass Higher Heating Value (HHV) Prediction Based on Proximate Analysis*

Made Dirgantara<sup>1</sup>, Karelius<sup>2</sup>, Marselin Devi Ariyanti<sup>1</sup>, Sry Ayu K. Tamba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya 73112, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya 73112, Indonesia  
dirgantaramade@mipa.upr.ac.id

<https://doi.org/10.35895/rf.v4i1.166>

**Abstrak** – Biomassa merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat mudah ditemui, ramah lingkungan dan cukup ekonomis. Keberadaan biomassa dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil, baik itu minyak bumi, gas alam maupun batu bara. Analisa diperlukan sebagai dasar biomassa sebagai energi seperti proksimat dan kalor. Analisis terpenting untuk menilai biomassa sebagai bahan bakar adalah nilai kalori atau higher heating value (HHV). HHV secara eksperimen diukur menggunakan bomb calorimeter, namun pengukuran ini kurang efektif, karena memerlukan waktu serta biaya yang tinggi. Penelitian mengenai prediksi HHV berdasarkan analisis proksimat telah dilakukan sehingga dapat mempermudah dan menghemat biaya yang diperlukan peneliti. Dalam makalah ini dibahas evaluasi persamaan untuk memprediksi HHV berdasarkan analisis proksimat pada biomassa berdasarkan data dari penelitian sebelumnya. Prediksi nilai HHV menggunakan lima persamaan yang dievaluasi dengan 25 data proksimat biomassa dari penelitian sebelumnya, kemudian dibandingkan berdasarkan nilai error untuk mendapatkan prediksi terbaik. Hasil analisis menunjukkan, persamaan A terbaik di 7 biomassa, B di 6 biomassa, C di 6 biomassa, D di 5 biomassa dan E di 1 biomassa.

**Kata kunci:** bahan bakar, biomassa, higher heating value, nilai error, proksimat

**Abstract** – Biomass is a renewable energy that is very easy to find, environmentally friendly, and quite economical. The existence of biomass can be used as a substitute for fossil fuels, both oil, natural gas, and coal. Analyzes are needed as a basis for biomass as energy such as proximate and heat. The most critical analysis to assess biomass as fuel is the calorific value or higher heating value (HHV). HHV is experimentally measured using a bomb calorimeter, but this measurement is less effective because it requires time and high costs. Research on the prediction of HHV based on proximate analysis has been carried out so that it can simplify and save costs needed by researchers. In this paper, the evaluation of equations is discussed to predict HHV based on proximate analysis on biomass-based on data from previous studies. HHV prediction values using five equations were evaluated with 25 proximate biomass data from previous studies, then compared based on error value to get the best predictions. The analysis shows that Equation A predicts best in 7 biomass, B in 6 biomass, C in 6 biomass, D in 5 biomass, and E in 1 biomass.

**Key words:** fuel, biomass, higher heating value, error value, proximate

## I. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu faktor penting dalam pengembangan ekonomi dan juga sosial. Dalam 100 tahun terakhir, jumlah konsumsi energi di dunia telah meningkat sekitar 17 kali [1]. Hal ini tentu saja akan menimbulkan dampak yang sangat besar dalam berbagai sektor kehidupan. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca ke atmosfer dan menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi setiap tahunnya [2]. Dalam hal ini perlu adanya energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil, salah satunya dengan memanfaatkan biomassa.

Biomassa adalah bahan bakar CO<sub>2</sub> netral yang tidak mempengaruhi konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer [3]. Selain itu kandungan sulfur dan nitrogen yang rendah, sehingga biomassa tidak menyebabkan emisi polusi seperti SO<sub>2</sub>

dan NO<sub>x</sub> yang umumnya dilepaskan setelah pembakaran [4]. Biomassa terdiri dari bahan organik yang menghasilkan beberapa bentuk energi (mekanik, termal, listrik, dll) dengan beberapa proses transformasi baik secara termal maupun kimia [5]. Bahan organik ini sangat mudah ditemui, ramah lingkungan dan memiliki nilai ekonomis karena merupakan hasil sampingan dari produk primer di antaranya berasal dari perkebunan, pertanian, hutan serta limbah di perkotaan [6,7]. Berdasarkan kriteria yang ada, biomassa menjadi salah satu bahan baku yang menarik untuk pembangkit listrik dan sebagai substitusi batubara [1,8].

Untuk memastikan potensi dan kelayakan biomassa sebagai bahan bakar yang berkualitas, diperlukan adanya analisis-analisis. Nilai kalor biomassa merupakan parameter utama dalam mengaplikasikan biomassa sebagai bahan bakar [9]. *Higher heating value* (HHV)

merupakan parameter yang mengacu pada total energi yang dilepaskan oleh satu kg bahan bakar ketika dibakar sepenuhnya. HHV suatu biomassa dapat ditingkatkan melalui beberapa proses salah satunya proses termokimia, sehingga didapatkan efisiensi pembakaran yang lebih baik [10]. HHV secara eksperimen dapat diukur dengan menggunakan *bomb calorimeter* [11] akan tetapi metode ini memerlukan waktu dan biaya yang tinggi. Oleh sebab itu diperlukan prediksi yang tepat, cepat, dan ekonomis [1].

Estimasi nilai kalor berdasarkan hasil analisis biomassa seperti proksimat dan *ultimate* dapat digunakan sebagai alternatif untuk mendapatkan akurasi prediksi yang tinggi [3]. Biaya untuk analisis proksimat lebih ekonomis dibandingkan dengan analisis *ultimate*, selain itu analisis proksimat merupakan parameter wajib dalam pengujian bahan bakar padat seperti kadar air dan kadar abu [9]. Oleh karena itu, dalam makalah ini dibahas evaluasi persamaan untuk memprediksi HHV biomassa berdasarkan analisis proksimat. Prediksi nilai HHV menggunakan lima persamaan terbaik dari penelitian sebelumnya yang dievaluasi ketepatannya berdasarkan *mean absolute error* (MAE), *average absolute error* (AAE) dan *average bias error* (ABE). Sebanyak 25 data proksimat biomassa yang juga memiliki nilai kalor secara eksperimen didapat dari penelitian sebelumnya [12]. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi lima persamaan yang diperoleh sehingga didapatkan prediksi HHV biomassa terbaik.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pengumpulan Data

Pengambilan data dan persamaan estimasi dilakukan dengan metode studi literatur. Data yang diambil berasal dari jurnal penelitian sebelumnya yang bersumber dari Google scholar dan ScienceDirect. Kata kunci yang digunakan untuk penelusuran tersebut adalah *estimation hhv*, *estimation hhv biomass*, *prediction hhv*, *prediction hhv biomass*, *hhv proximate*, *torrefaction biomass*, *proximate biomass* dan proksimat biomassa. Dari hasil penelusuran tersebut kemudian dipilih 5 persamaan terbaru dan terbaik yang nantinya akan dievaluasi dengan 25 data proksimat biomassa

### B. Estimasi Nilai HHV

Lima persamaan estimasi nilai HHV berdasarkan data proksimat yakni kadar karbon (FC), abu (AC), air (MC) dan volatile (VM) dari penelitian sebelumnya disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Persamaan Estimasi Nilai Kalori Berdasarkan Analisis Proksimat

Kode	Persamaan	Ref.
A	$HHV = -0,0038(-19,9812FC^{1,2259} - 1,0298 \times 10^{-13} VM^{8,0664} + 0,1026AC^{2,4231} - 1,2065 \times 10^{-7} (FC \times AC^{4,6653}) + 0,0228(FC \times VM \times AC) - 0,2511(VM/AC)) - 0,0478(FC/VM) + 15,7199$	[9]
B	$HHV = 17,797 + 0,031 FC + 0,010 VM + 0,155 AC$	[13]

C	$HHV = 0,1846VM + 0,3525FC$	[12]
D	$HHV = 0,3451 FC - 0,0022 FC/VM + 0,1625 VM + 0,0075 AC$	[5]
E	$HHV = 0,6042 FC + 0,4083VM + 0,2442AC + 0,4107MC - 25,204$	[14]

### C. Estimasi error

Untuk memperoleh estimasi *error* digunakan *mean absolute error* (MAE), *average absolute error* (AAE) dan *average bias error* (ABE) dengan persamaan [3, 15]

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |HHV_{(p)} - HHV_{(e)}| \quad (1)$$

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{HHV_{(p)} - HHV_{(e)}}{HHV_{(e)}} \right| \times 100 \quad (2)$$

$$ABE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{HHV_{(p)} - HHV_{(e)}}{HHV_{(e)}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

$HHV_{(p)}$  = HHV prediksi

$HHV_{(e)}$  = HHV eksperimen

$n$  = jumlah sampel

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil studi literatur dan analisis error untuk masing-masing biomassa disajikan pada Tabel 2. Semakin rendah nilai MAE dan AAE menunjukkan semakin akurat prediksi yang dilakukan di mana nilai AAE mengikuti MAE, semakin kecil MAE maka nilai AAE juga akan semakin kecil. ABE menunjukkan apakah hasil prediksi yang diperoleh lebih besar (+) atau lebih kecil (-) dari nilai eksperimen [3,16].

Persamaan A oleh Dashti dkk (2019) menggunakan metode *smart modeling* dan korelasi yakni *multilayer perceptron artificial neural network* (MLP-ANN) *genetic algorithm-adaptive neuro fuzzy inference system* (GA-ANFIS) *differential evolution-ANFIS* (DE-ANFIS), *GA-radial basis function* (GA-RBF), *least square support vector machine* (LSSVM) dan *multivariate polynomial regression* (MPR) [9]. Persamaan A dapat memprediksi lebih baik dibandingkan persamaan lainnya pada 7 biomassa yakni kotoran sapi, tongkol jagung, batang jagung, bambu, cabang pohon cemara, daun kelapa sawit dan jerami gandum basah.

Persamaan B oleh Xing dkk (2019) menggunakan 3 pendekatan *machine learning* yakni *artificial neural network* (ANN), *support vector machine* (SVM) dan *random forest* (RF) [13]. Persamaan B dapat memprediksi terbaik di 6 biomassa yakni tempurung kelapa, jerami padi, mahua, mikroalga, *Nannochloropsis oceanica* dan sekam kacang.

Persamaan C oleh Nguchhen dan Afzal (2017) membandingkan 14 persamaan yang tersedia kemudian di dapat korelasi terbaik untuk memprediksi HHV biomassa yang di torefaksi [12]. Persamaan C dapat memprediksi terbaik di 6 biomassa yakni *Chlorella* sp, cangkang biji palm, biji marula, batang karet, limbah makanan dan limbah teh.

Persamaan D oleh Estiati dkk (2016) menggunakan *artificial neural network* (ANN) dan korelasi empiris

dalam memprediksi HHV biomassa [5]. Persamaan D dapat memprediksi terbaik di 5 biomassa yakni biji buah zaitun, jerami gandum, *willow*, limbah kayu dan rumput.

Persamaan E oleh Kwaghger dkk (2017) menggunakan multipel regresi yang dievaluasi dengan *reglin* di SCILAB *environment* [14]. Persamaan E terbaik di satu biomassa yakni kayu cemara. Walau tidak terbaik dalam

perhitungan biomassa lainnya, tetapi berdasarkan hasil estimasi *error*, persamaan tersebut juga memiliki *error* yang kecil di 9 biomassa yakni tempurung kelapa, kotoran sapi, tongkol jagung, jerami padi, batang jagung, biji buah zaitun, cangkang biji palm, daun kelapa sawit dan jerami gandum basah.

**Tabel 2.** Estimasi Prediksi dan *Error* Nilai Kalori Biomassa

Biomassa	FC (%)	AC (%)	MC (%)	VM (%)	HHV eks. (MJ/kg)	Kode	HHV pre. (MJ/kg)	MAE	AAE (%)	ABE (%)
Kayu cemara [17]	12,79	2,1	20	65,1	17,94	A	17,4801	0,4699	0,0262	-0,0262
					17,95	B	18,5191	0,5691	0,0317	0,0317
					17,95	C	16,6557	1,2943	0,0721	-0,0721
					17,95	D	15,0095	2,9405	0,1638	-0,1638
					17,95	E	17,8350	0,1151	0,0064	-0,0064
Mahua [18]	5,4	2	8,6	84	21,59	A	16,2763	5,3137	0,2461	-0,2461
					21,59	B	18,4944	3,0956	0,1434	-0,1434
					21,59	C	17,4639	4,1261	0,1911	-0,1911
					21,59	D	15,5284	6,0616	0,2808	-0,2808
					21,59	E	16,3763	5,2137	0,2415	-0,2415
Batang karet [19]	13,5	5,85	56,7	80,7	19,74	A	16,9904	2,7496	0,1393	-0,1393
					19,74	B	18,1153	1,6248	0,0823	-0,0823
					19,74	C	19,7817	0,0417	0,0021	0,0021
					19,74	D	17,8080	1,9320	0,0979	-0,0979
					19,74	E	40,5974	20,8574	1,0566	1,0566
Bambu [17]	12,85	6,75	0	63,5	17,32	A	16,9390	0,3811	0,0220	-0,0220
					17,32	B	19,8770	2,5570	0,1476	0,1476
					17,32	C	16,2591	1,0609	0,0613	-0,0613
					17,32	D	14,8100	2,5100	0,1449	-0,1449
					17,32	E	10,1517	7,1683	0,4139	-0,4139
Willow [17]	16,05	2,77	0	78,9	18,37	A	17,7102	0,6598	0,0359	-0,0359
					18,37	B	19,5130	1,1430	0,0622	0,0622
					18,37	C	20,2244	1,8544	0,1009	0,1009
					18,37	D	18,3821	0,0121	0,0007	0,0007
					18,37	E	17,3888	0,9812	0,0534	-0,0534
Limbah kayu [20]	19,09	7,37	0	73,5	19,27	A	17,5933	1,6767	0,0870	-0,0870
					19,27	B	20,2665	0,9965	0,0517	0,0517
					19,27	C	20,3047	1,0347	0,0537	0,0537
					19,27	D	18,5929	0,6771	0,0351	-0,0351
					19,27	E	18,1563	1,1137	0,0578	-0,0578
Cabang pohon cemara [21]	12,01	2,87	0	69,2	17,75	A	17,1219	0,6281	0,0354	-0,0354
					17,75	B	19,3959	1,6459	0,0927	0,0927
					17,75	C	17,0023	0,7477	0,0421	-0,0421
					17,75	D	15,4059	2,3441	0,1321	-0,1321
					17,75	E	10,9954	6,7546	0,3805	-0,3805

Tongkol jagung	12,11	6,51	10	71,4	16,73	A	16,8135	0,0834	0,0050	0,0050
[17]					16,73	B	17,8772	1,1472	0,0686	0,0686
					16,73	C	17,5666	0,8366	0,0500	0,0500
					16,73	D	15,8269	0,9031	0,0540	-0,0540
					16,73	E	16,9541	0,2241	0,0134	0,0134
Jerami	17,5	2,8	0	79,7	18,8	A	17,9300	0,8700	0,0463	-0,0463
[22]					18,8	B	18,7025	0,0975	0,0052	-0,0052
					18,8	C	21,0564	2,2564	0,1200	0,1200
					18,8	D	19,0110	0,2110	0,0112	0,0112
					18,8	E	18,5948	0,2052	0,0109	-0,0109
Batang jagung	16,02	7,19	0	76,8	16,55	A	17,1836	0,6336	0,0383	0,0383
[21]					16,55	B	17,9471	1,3971	0,0844	0,0844
					16,55	C	19,9827	3,4327	0,2074	0,2074
					16,55	D	18,0603	1,5103	0,0913	0,0913
					16,55	E	17,5844	1,0344	0,0625	0,0625
Jerami gandum kering	33,52	9,62	0	56,9	21,73	A	19,6426	2,0874	0,0961	-0,0961
[23]					21,73	B	17,9135	3,8165	0,1756	-0,1756
					21,73	C	22,6455	0,9155	0,0421	0,0421
					21,73	D	20,8767	0,8533	0,0393	-0,0393
					21,73	E	20,6098	1,1202	0,0515	-0,0515
Rumput	14,3	23,5	0	62,2	15,4	A	15,0783	0,3217	0,0209	-0,0209
[22]					15,4	B	22,5048	7,1048	0,4614	0,4614
					15,4	C	16,5229	1,1229	0,0729	0,0729
					15,4	D	15,2182	0,1818	0,0118	-0,0118
					15,4	E	14,5710	0,8290	0,0538	-0,0538
Daun kelapa sawit	14,14	0,68	0	85,2	14,14	A	17,7136	3,5736	0,2527	0,2527
[24]					14,14	B	19,1925	5,0525	0,3573	0,3573
					14,14	C	20,7086	6,5686	0,4645	0,4645
					14,14	D	18,7262	4,5862	0,3243	0,3243
					14,14	E	18,2844	4,1444	0,2931	0,2931
Sekam kacang	20,53	0,15	0	79,3	19,16	A	19,2760	0,1160	0,0061	0,0061
[16]					19,16	B	19,2499	0,0899	0,0047	0,0047
					19,16	C	21,8793	2,7193	0,1419	0,1419
					19,16	D	19,9750	0,8150	0,0425	0,0425
					19,16	E	19,6232	0,4632	0,0242	0,0242
Jerami gandum basah	9,2	7	7,1	76,7	16,5	A	16,6064	0,1064	0,0064	0,0064
[21]					16,5	B	19,9342	3,4342	0,2081	0,2081
					16,5	C	17,4018	0,9018	0,0547	0,0547
					16,5	D	15,6909	0,8091	0,0490	-0,0490
					16,5	E	16,2966	0,2034	0,0123	-0,0123
Tempurung kelapa	15,58	7,78	12,86	63,8	17,66	A	17,1901	0,4699	0,0266	-0,0266
[17]					17,66	B	17,7117	0,0517	0,0029	0,0029
					17,66	C	17,4179	0,2421	0,0137	-0,0137
					17,66	D	15,7955	1,8645	0,1056	-0,1056
					17,66	E	17,4241	0,2359	0,0134	-0,0134
Cangkang biji palm	18,7	0,84	10	70,5	20,1	A	18,4425	1,6575	0,0825	-0,0825

					20,1	B	18,9515	1,1485	0,0571	-0,0571
[25]					20,1	C	19,7931	0,3070	0,0153	-0,0153
					20,1	D	17,9153	2,1847	0,1087	-0,1087
					20,1	E	19,1918	0,9082	0,0452	-0,0452
Kotoran sapi	15,46	21,41	48	15,1	16,78	A	16,7749	0,0051	0,0003	-0,0003
[17]					16,78	B	15,1090	1,6710	0,0996	-0,0996
					16,78	C	8,3972	8,3828	0,4996	-0,4996
					16,78	D	7,9522	8,8278	0,5261	-0,5261
					16,78	E	15,2564	1,5236	0,0908	-0,0908
Limbah makanan	7,19	16,89	0	75,9	17,45	A	15,4073	2,0427	0,1171	-0,1171
[20]					17,45	B	21,3970	3,9470	0,2262	0,2262
					17,45	C	16,5493	0,9007	0,0516	-0,0516
					17,45	D	14,9447	2,5053	0,1436	-0,1436
					17,45	E	14,2629	3,1871	0,1826	-0,1826
Limbah teh	7,19	16,89	0	75,9	17,45	A	15,4073	2,0427	0,1171	-0,1171
[16]					17,45	B	21,3970	3,9470	0,2262	0,2262
					17,45	C	16,5493	0,9007	0,0516	-0,0516
					17,45	D	14,9447	2,5053	0,1436	-0,1436
					17,45	E	14,2629	3,1871	0,1826	-0,1826
Biji Marula	15,8	5,1	17,1	79,1	20,4	A	17,3906	3,0094	0,1475	-0,1475
[19]					20,4	B	18,2873	2,1127	0,1036	-0,1036
					20,4	C	20,3294	0,0706	0,0035	-0,0035
					20,4	D	18,3441	2,0559	0,1008	-0,1008
					20,4	E	24,9073	4,5073	0,2209	0,2209
Biji buah zaitun	32,8	1,7	0	63,9	22,4	A	20,9003	1,4997	0,0670	-0,0670
[21]					22,4	B	19,1893	3,2107	0,1433	-0,1433
					22,4	C	23,6859	1,2859	0,0574	0,0574
					22,4	D	21,7147	0,6854	0,0306	-0,0306
					22,4	E	21,1193	1,2807	0,0572	-0,0572
Nannochloropsis Oceanica	2,29	14,23	2,98	80,5	21	A	15,4638	5,5522	0,2642	-0,2642
[26]					21	B	16,4673	4,5487	0,2164	-0,2164
					21	C	15,6904	5,3256	0,2534	-0,2534
					21	D	13,9782	7,0378	0,3349	-0,3349
					21	E	13,7466	7,2694	0,3459	-0,3459
Microalgae	18,7	0,84	10	70,5	19,99	A	14,6900	5,3000	0,2651	-0,2651
[18]					19,99	B	14,7684	5,2217	0,2612	-0,2612
					19,99	C	14,1611	5,8289	0,2916	-0,2916
					19,99	D	12,8668	7,1232	0,3563	-0,3563
					19,99	E	13,1298	6,8603	0,3432	-0,3432
Chlorella sp	7,25	4,52	2,65	85,6	22	A	16,3370	5,6750	0,2578	-0,2578
[25]					22	B	18,1770	3,8351	0,1742	-0,1742
					22	C	18,4262	3,5858	0,1629	-0,1629
					22	D	16,4424	5,5696	0,2530	-0,2530
					22	E	16,3109	5,7011	0,2590	-0,2590

Jika dilihat dari keseluruhan hasil analisis *error*, persamaan A memiliki nilai MAE dan AAE terkecil

yakni 1,8870 dan 0,0926 dengan bias + seperti ditunjukkan pada Tabel 3, sehingga persamaan tersebut

lebih direkomendasikan untuk digunakan dalam memprediksi nilai HHV biomassa baru yang belum diketahui nilai HHV berdasarkan data analisis proksimat.

**Tabel 3.** Nilai Error Kelima Persamaan

Kode Persamaan	MAE	AAE (%)	ABE (%)
A	1,8770	0,0926	-0,0689
B	2,6368	0,1395	0,0226
C	2,2297	0,1231	-0,0132
D	2,6683	0,1378	-0,1057
E	3,2726	0,1720	-0,0435

#### IV. SIMPULAN

Kelima persamaan prediksi HHV berdasarkan data proksimat yang dievaluasi memiliki keunggulan masing-masing bergantung pada biomassa yang diprediksi. Dari 25 biomassa persamaan A terbaik dalam memprediksi HHV untuk 7 biomassa (kotoran sapi, tongkol jagung, batang jagung, bambu, cabang pohon cemara, daun kelapa sawit dan jerami gandum basah), B untuk 6 biomassa (tempurung kelapa, jerami padi, mahua, mikroalga, *Nannochloropsis oceanica* dan sekam kacang), C untuk 6 biomassa (*Chlorella* sp, cangkang biji palm, biji marula, batang karet, limbah makanan dan limbah teh), D untuk 5 biomassa (biji buah zaitun, jerami gandum, *willow*, limbah kayu dan rumput) dan E untuk 1 biomassa (kayu cemara).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) yang telah mendukung presentasi artikel ini melalui Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya yang dilanjutkan publikasi di Jurnal Risalah Fisika.

#### PUSTAKA

- E. Akkaya, "ANFIS based prediction model for biomass heating value using proximate analysis components," *Fuel* 180 (2016) 687–693, doi: 10.1016/j.fuel.2016.04.112.
- J. Blunden dan D. S. Arndt, "State of the Climate in 2018," *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 100 (2019) S1-S306, doi: 10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1.
- A. Özyuguran, S. Yaman, dan S. Küçükbayrak, "Prediction of calorific value of biomass based on elemental analysis," *Int. Adv. Res. Eng. J.* 2 (2018) 2.
- N. Yaacob, N. A. Rahman, S. Matali, S. S. Idris, dan A. B. Alias, "An overview of oil palm biomass torrefaction: Effects of temperature and residence time," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 36 (2016) 0120381, doi: 10.1088/1755-1315/36/1/012038
- I. Estiati, F. B. Freire, J. T. Freire, R. Aguado, dan M. Olazar, "Fitting performance of artificial neural networks and empirical correlations to estimate higher heating values of biomass," *FUEL* 180 (2016) 377–383, doi: 10.1016/j.fuel.2016.04.051.
- R. Alamsyah, N. C. Siregar, dan F. Hasanah, "Peningkatan Nilai Kalor Pellet Biomassa Cocopeat sebagai Bahan Bakar Terbarukan dengan Aplikasi Torefaksi," *War. Ind. Has. Pertan.* 33 (2018) 17–23, doi: 10.32765/warta.ihp.v33i01.3813.
- A. Ozyuguran, A. Akturk, dan S. Yaman, "Optimal use of condensed parameters of ultimate analysis to predict the calorific value of biomass," *Fuel* 214 (2018) 640–646, doi: 10.1016/j.fuel.2017.10.082.
- M. Asadullah, A. M. Adi, N. Suhada, N. H. Malek, M. I. Saringat, dan A. Azdarpour, "Optimization of palm kernel shell torrefaction to produce energy densified bio-coal," *Energy Convers. Manag.* 88 (2014) 1086–1093, doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.071.
- A. Dashti, A. S. Noushabadi, M. Raji, A. Razmi, S. Ceylan, dan A. H. Mohammadi, "Estimation of biomass higher heating value (HHV) based on the proximate analysis: Smart modeling and correlation," *Fuel* 257 (2019) 115931, doi: 10.1016/j.fuel.2019.115931.
- J. Xing, K. Luo, H. Wang, Z. Gao, dan J. Fan, "A comprehensive study on estimating higher heating value of biomass from proximate and ultimate analysis with machine learning approaches," *Energy* 188 (2019) 116077, doi: 10.1016/j.energy.2019.116077.
- M. Dirgantara, Karelus, B. T. Cahyana, K. G. Suastika, dan A. R. Akbar, "Effect of Temperature and Residence Time Torrefaction Palm Kernel Shell On The Calorific Value and Energy Yield," *J. Phys. Conf. Ser.* 1428 (2020) 012010, doi: 10.1088/1742-6596/1428/1/012010.
- D. R. Nhuchhen dan M. T. Afzal, "HHV Predicting Correlations for Torrefied Biomass Using Proximate and Ultimate Analyses," *Bioengineering* 4 (2017) 1-15, doi: 10.3390/bioengineering4010007.
- J. Xing, K. Luo, H. Wang, Z. Gao, dan J. Fan, "A comprehensive study on estimating higher heating value of biomass from proximate and ultimate analysis with machine learning approaches," *Energy* 188 (2019) 116077, doi: 10.1016/j.energy.2019.116077.
- A. Kwagheger, L. A. Enyejoh, dan H. A. Iortyer, "The development of equations for estimating high heating values from proximate and ultimate analysis for some selected indigenous fuel woods," *Eur. J. Eng. Technol* 5 (2017) 21–33.
- D. R. Nhuchhen dan P. Abdul Salam, "Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach," *Fuel* 99 (2012) 55–63, doi: 10.1016/j.fuel.2012.04.015.
- A. Özyuguran dan S. Yaman, "Prediction of Calorific Value of Biomass from Proximate Analysis," *Energy Procedia* 107 (2017) 130–136, doi: 10.1016/j.egypro.2016.12.149.
- G. Pahla, T. A. Mamvura, F. Ntuli, dan E. Muzenda, "Energy densification of animal waste lignocellulose biomass and raw biomass," *South Afr. J. Chem. Eng.* 24, (2017) 168–175, doi: 10.1016/j.sajce.2017.10.004.
- K. N. Dhanavath, S. Bankupalli, S. K. Bhargava, dan R. Parthasarathy, "An experimental study to investigate the effect of torrefaction temperature on the kinetics of gas generation," *J. Environ. Chem. Eng.* 6 (2018) 3332–3341, doi: 10.1016/j.jece.2018.05.016.
- T. A. Mamvura, G. Pahla, dan E. Muzenda, "Torrefaction of waste biomass for application in energy production in South Africa," *South Afr. J. Chem. Eng.* 25 (2018) 1–12, doi: 10.1016/j.sajce.2017.11.003.
- N. Asma *dkk.*, "ScienceDirect ScienceDirect Torrefaction of Municipal Solid Waste in Malaysia Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor temperature function for a long-term district heat demand forecast," *Energy Procedia* 138 (2017) 313–31, doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.106.
- D. R. Nhuchhen dan P. Abdul Salam, "Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach," *Fuel* 99 (2012) 55–63, doi: 10.1016/j.fuel.2012.04.015.

22. S. Kieseler, Y. Neubauer, dan N. Zobel, "Ultimate and proximate correlations for estimating the higher heating value of hydrothermal solids," *Energy Fuels* 27 (2013) 908–918, doi: 10.1021/ef301752d.
23. Q. V. Bach, H. R. Gye, D. Song, dan C. J. Lee, "High quality product gas from biomass steam gasification combined with torrefaction and carbon dioxide capture processes," *Int. J. Hydrog. Energy* 44 (2019) 14387–14394, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.11.237.
24. F. Razil, A. Abdul, S. Saleh, N. Asma, dan F. Abdul, "Estimation of Higher Heating Value of Torrefied Palm Oil Wastes from Proximate Analysis," *Energy Procedia* 138 (2017) 307–312, doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.102.
25. Y. Uemura, S. Saadon, N. Osman, N. Mansor, dan K. Tanoue, "Torrefaction of oil palm kernel shell in the presence of oxygen and carbon dioxide," *Fuel* 144 (2015) 171–179, doi: 10.1016/j.fuel.2014.12.050.
26. C. Zhang, C. Wang, G. Cao, W. H. Chen, dan S. H. Ho, "Comparison and characterization of property variation of microalgal biomass with non-oxidative and oxidative torrefaction," *Fuel* 246 (2019) 375–385, doi: 10.1016/j.fuel.2019.02.139.