

## Model Prediksi Nilai Panas Tinggi Biobriket Daun Kesambi (*Schleichera oleosa*) Torrefied

Jemmy Jonson Sula Dethan<sup>1</sup> dan Arlindo U. S. Kette<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Kristen Artha Wacana 85111 Kupang

<sup>1</sup> Email : johnson@ukaw.ac.id

<sup>2</sup> Email : arlindo020304kette@gmail.com

Submit : 17-05-2024

Revisi : 30-05-2024

Diterima : 04-06-2024

### ABSTRACT

*This research discusses the importance of kesambi leaf biomass as a renewable energy source and examines the potential of biobriquettes as a more sustainable fuel alternative compared to traditional wood biomass. In an effort to overcome the limitations of raw biomass, this research focuses on developing a statistical model to predict the higher heating value (HHV) of kesambi leaf biobriquettes based on adhesive ratio and particle size. Three prediction models, namely Parikh, Yin, and Nhuchhen, were implemented to evaluate the influence of these variables. The results showed that the adhesive ratio and particle size had a significant impact on the HHV of biobriquettes. The developed model is able to provide accurate HHV predictions, showing that optimising the adhesive ratio and particle size can improve the energy efficiency of biobriquettes. Based on the analysis above, the Nhuchhen Model (2012) can be considered the best model because it has a high R2 value and adjusted R2 value (0.93 and 0.87), indicating good accuracy and indicating a lack of fit that is not significant, indicating a good fit. a good model, has quite high precision (12.56), shows good precision, and provides high and accurate HHV predictions (29.84 MJ/kg ± 0.21). Therefore, the Nhuchhen model provides the best combination of accuracy, suitability, precision, and adequate prediction to be used in predicting the HHV value of kesambi leaf biobriquettes.*

**Keywords:** Biobriquette, Kesambi Leaf, Higher Heating Value, Model Prediction, Torrefaction.

### ABSTRAK

Penelitian ini membahas pentingnya biomassa daun kesambi sebagai sumber energi terbarukan, serta mengkaji potensi biobriket sebagai alternatif bahan bakar yang lebih berkelanjutan dibandingkan biomassa kayu tradisional. Dalam upaya mengatasi keterbatasan biomassa mentah, penelitian ini berfokus pada pengembangan model statistik untuk memprediksi nilai kalor yang lebih tinggi (*Higher Heating Value/HHV*) dari biobriket daun kesambi berdasarkan rasio perekat dan ukuran partikel. Tiga model prediksi, yaitu Parikh, Yin, dan Nhuchhen, diimplementasikan untuk mengevaluasi pengaruh variabel tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio perekat dan ukuran partikel memiliki dampak signifikan terhadap HHV biobriket. Model yang dikembangkan mampu memberikan prediksi HHV yang akurat, menunjukkan bahwa optimasi rasio perekat dan ukuran partikel dapat meningkatkan efisiensi energi biobriket. Berdasarkan analisis di atas, maka Model Nhuchhen (2012) dapat dianggap sebagai model terbaik karena mempunyai nilai R2 yang tinggi dan nilai Adjusted R2 (0,93 dan 0,87), menunjukkan akurasi yang baik, menunjukkan kurangnya kecocokan yang tidak signifikan, menunjukkan kecocokan model yang baik, memiliki presisi cukup tinggi (12,56), menunjukkan presisi yang baik, dan memberikan prediksi HHV yang tinggi dan akurat (29,84 MJ/kg ± 0,21). Oleh karena itu, model Nhuchhen memberikan kombinasi akurasi, kesesuaian, presisi, dan prediksi yang memadai yang terbaik untuk digunakan dalam memprediksi nilai HHV biobriket daun kesambi.

**Kata kunci:** Biobriket, Daun Kesambi, Nilai Kalor Lebih Tinggi, Model Prediksi; Torefaksi..

## 1 Pendahuluan

Dunia menghadapi tantangan krusial: menyeimbangkan kebutuhan energi dengan kelestarian lingkungan. Setelah menjadi sumber energi utama selama ribuan tahun, bahan bakar fosil dengan cepat habis dan mengeluarkan sejumlah besar gas rumah kaca yang sangat merusak iklim (Azni et al., 2023; Perera, 2018; Santos et al., 2022). Hal ini memerlukan peralihan global menuju alternatif yang lebih bersih dan terbarukan.

Biomassa merupakan solusi yang menjanjikan. Hal ini menawarkan keberlanjutan, pembaharuan, dan keramahan lingkungan, dengan potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan melestarikan sumber daya lahan. Namun biomassa mentah memiliki keterbatasan, antara lain biaya transportasi yang tinggi, kepadatan energi yang rendah, dan kesulitan dalam penggilingan karena ukurannya yang besar, sifat berserat, dan kadar air yang tinggi. Biomassa terutama digunakan dalam teknik konversi kuno, sehingga mengakibatkan inefisiensi energi yang cukup besar. Sebagai konsekuensinya, terdapat peningkatan ketergantungan pada biomassa hutan untuk mengimbangi defisit bahan bakar biomassa kayu. Praktik mitigasi deforestasi berpotensi meningkatkan cadangan karbon di hutan yang ada, sehingga mendorong pengelolaan sumber daya hutan secara berkelanjutan (Ahiduzzaman & Sadrul Islam, 2016).

Biobriket yang dihasilkan dari biomassa melalui pirolisis termal, menawarkan keuntungan tersendiri. Teknologi ini memiliki sifat dan potensi bahan bakar yang lebih baik, menjadikannya alat yang berharga untuk mencapai masa depan energi ramah lingkungan. Kemampuan biomassa dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam proses pembuatan briket arang yang efektif menggantikan biomassa kayu. Penggunaan biomassa dengan cara ini tidak hanya menyediakan sumber bahan baku alternatif tetapi juga meningkatkan nilai keseluruhan dari bahan itu sendiri. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran ke arah praktik produksi arang yang berkelanjutan, mendorong efisiensi penggunaan sumber daya terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada biomassa kayu tradisional (Hwangdee et al., 2021).

Analisis sangat penting untuk memastikan kelayakan dan potensi biomassa sebagai bahan bakar berkualitas tinggi. Saat memanfaatkan biomassa sebagai sumber bahan bakar, pertimbangan utama adalah nilai kalornya (Saleem, 2022; Sivabalan et al., 2021). Peningkatan efisiensi pembakaran dapat dicapai melalui berbagai proses, salah satunya melibatkan metode termokimia yang bertujuan untuk meningkatkan HHV biomassa (Acar & Ayanoglu, 2012; Amen et al., 2021; Dirgantara et al., 2019). Bahan bakar dengan HHV yang lebih tinggi menghasilkan

lebih banyak energi, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas biaya (Ganesapillai et al., 2023). Secara tradisional, pengukuran HHV menggunakan kalorimeter bom oksigen adiabatik (Basu, 2018; Parnthong et al., 2022). Meskipun metode ini dapat diandalkan, ketergantungannya pada peralatan khusus membuatnya mahal untuk penerapan rutin.

Para peneliti secara aktif mencari pendekatan alternatif untuk memperkirakan nilai kalor yang lebih tinggi (HHV). Banyak persamaan prediksi telah dirancang dengan menggunakan analisis proksimat dan analisis akhir sebagai landasan. Persamaan seperti itu sering kali mengandalkan torrefaction char (HTC-*char*), yang memiliki karakteristik serupa dengan biochar (Costa et al., 2019; Kieseler et al., 2013). Produk briket yang menggunakan arang berbahan dasar kulit angka dengan ukuran partikel 80 mesh ini menunjukkan Nilai Pemanasan Tinggi (HHV) sebesar 5404 kkal/kg (Pratiwi et al., 2019). Penambahan perekat memberikan pengaruh terhadap variabel yang diamati yaitu ketahanan, lama penyalaan, kepadatan, dan kadar air (Kette et al., 2024). Analisis efisiensi termal kompor gasifikasi mikro menunjukkan bahwa kinerja briket arang 80 mesh sangat sebanding dengan kinerja kayu kering dan arang biasa. Kesamaan ini menunjukkan potensi penggunaan briket sebagai cara efektif untuk mengubah sampah menjadi energi. Selain itu, potensi tersebut juga mencakup konsumsi energi di sentra makanan tradisional. Uraian ini menguraikan ciri-ciri briket tongkol jagung berdasarkan komposisinya. Briket mengandung kadar air 6,68, yang menunjukkan jumlah air yang ada di dalam bahan. Kadar abu diukur pada 4,15, mewakili residu anorganik yang tertinggal setelah pembakaran. Bahan yang mudah menguap, yang terdiri dari gas yang dilepaskan selama pemanasan, menyumbang 11,04 komposisi briket. Pada 80,21, karbon tetap merupakan bagian terbesar. Karbon tetap adalah bahan karbon padat yang tersisa setelah bahan mudah menguap dihilangkan. Terakhir, nilai kalor briket, yang mengukur jumlah energi panas yang dikeluarkan selama pembakaran per satuan massa, adalah 5663,5 Kal/g. Dengan mempertimbangkan semua hal, pengukuran ini menjelaskan potensi energi dan karakteristik pembakaran briket tongkol jagung sebagai sumber bahan bakar (Dimiyati & Kurniasih, 2020).

Korelasi yang ada sering kali berfokus pada batu bara (El Hanandeh et al., 2021; Kartal & Özveren, 2022), biomassa, atau limbah padat perkotaan (Dashti et al., 2021; Sharma Timilsina et al., 2024), sehingga menyoroiti kurangnya model spesifik yang berfokus pada biobriket. Selain itu, banyak korelasi yang ada terbatas pada bahan bakar atau wilayah tertentu, sehingga membatasi penerapannya secara lebih luas. Prediksi yang dilakukan menggunakan persamaan Parikh menghasilkan nilai tertinggi sekitar 29 MJ/kg, sedangkan model Wahid menunjukkan nilai HHV sebesar 25 MJ/kg, dan model Nhuchhen mendekati 20 MJ/kg (J. J. S. Dethan, Haba Bunga,

et al., 2024). Sebagai perbandingan, sebelum dilakukan torefaksi, nilai kalor pelet tandan kosong kelapa sawit sebesar 15,82 MJ/kg, kemudian meningkat menjadi 18,28 MJ/kg setelah torefaksi dilakukan dengan tanur listrik (Rani et al., 2020). Nilai kalor yang lebih tinggi (HHV) bervariasi antar sumber biomassa, seperti kayu, kulit kayu, limbah hutan, dan residu pertanian, dengan nilai biasanya berkisar antara 17 hingga 21 MJ/kg untuk kayu kering dan 19 hingga 23 MJ/kg untuk kulit kayu, lebih rendah dibandingkan arang yang berkisar antara 29 hingga 33 MJ/kg, sehingga mempengaruhi efisiensi produksi energi dan menekankan pentingnya memahami komposisi dan struktur biomassa untuk pemanfaatan bahan bakar yang optimal (Esteves et al., 2023). Pelet cangkang bunga matahari HHV 20,1 MJ/kg, pelet kayu 19,8 MJ/kg, briket jerami 15,6 - 16,0 MJ/kg, serpihan hutan 14,8 MJ/kg (Górnicki et al., 2020). Hasil pengujian menunjukkan bahwa wood pellet berbahan dasar kirinyuh memiliki nilai kalor tertinggi (18,52 MJ/kg), sedangkan wood pellet berbahan kirinyuh memiliki nilai terendah (17,60 MJ/kg) (Hajad et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menguji model Parikh, Yin dan Nhuchhen untuk memperkirakan nilai kalor yang lebih tinggi (HHV) dari biobriket daun kesambi dengan mempertimbangkan rasio perekat dan ukuran partikel. Model ini bertujuan untuk memberikan akurasi dan generalisasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode saat ini yang menggunakan analisis proksimat dan analisis akhir.

Keberhasilan pengembangan model seperti ini akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kemajuan produksi biobriket yang efisien dan berkelanjutan. Dengan memprediksi HHV secara akurat berdasarkan parameter yang tersedia, model ini dapat mengoptimalkan rasio perekat dan ukuran partikel untuk mendapatkan nilai kalor maksimum (Musabbikhah et al., 2019), memandu pengembangan biobriket yang hemat biaya dan ramah lingkungan, serta memfasilitasi adopsi biobriket yang lebih luas sebagai biobriket yang layak sumber energi alternatif (Callejón-Ferre et al., 2009), dan meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sektor energi berbasis biobriket secara keseluruhan (Kujawska et al., 2023; Mari Selvam & Balasubramanian, 2023). Oleh karena itu, upaya ini mengisi kesenjangan penting dalam upaya mencapai alternatif energi yang berkelanjutan dan bersih. Model yang dibuat dapat secara signifikan mempengaruhi pembuatan dan penerapan biobriket, sehingga memajukan masa depan yang lebih berkelanjutan.

## **2 Bahan dan Metode**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biosains Universitas Nusa Cendana dan Laboratorium Ilmu Eksakta Universitas Kristen Artha Wacana, menggunakan Design Expert 13

(J. Dethan & Lalel, 2024). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun kesambi yang telah ditorefaksi pada suhu torefaksi 300°C dan lama torefaksi 20 menit (J. J. S. Dethan, Bale-Therik, et al., 2024), perekat tapioka dan bahan untuk analisis kimia. Peralatan penelitian meliputi alat cetak briket (hidrolik), *disc mill*, *tyller sieve*, timbangan analitik, *stopwatch*, dan peralatan uji laboratorium. Penelitian dirancang menggunakan pemodelan respon permukaan kuadrat dalam desain eksperimental *Central Composite Design* (CCD) dengan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk menghitung koefisien regresi polinomial derajat kedua. Dua variabel diperiksa dalam penelitian ini: Ukuran partikel (mesh), diwakili oleh variabel  $X_1$ , dan rasio perekat (%), diwakili oleh variabel  $X_2$ .

Pengacakan menggunakan RSM CCD menghasilkan rasio perekat tapioka bervariasi dari 3 hingga 17 sehubungan dengan jumlah daun kesambi pada setiap kombinasi perlakuan yang diperiksa, dan ukuran partikel daun kesambi berkisar antara 12 mesh hingga 70 mesh. Briket dibuat dengan terlebih dahulu mencampurkan air dan perekat tapioka dengan perbandingan berat/volume 1:8, kemudian campuran tersebut direbus hingga mengental. Kemudian dengan menggunakan alat cetak hidrolik, bahan perekat yang dihasilkan dicampur dengan daun kesambi dan dicetak menjadi briket dengan diameter 4 cm dan tinggi 8 cm. Setelah itu briket dijemur di bawah sinar matahari selama sepuluh hari.

Parameter kualitas biobriket menggunakan standar ASTM. Kesesuaian model dinilai dengan uji ketidaksesuaian dan koefisien determinasi. Tabel 1 menunjukkan *running* Design Expert 13 yang menghasilkan 13 kombinasi perlakuan acak.

**Tabel 1.** Parameter respon dari penelitian sebelumnya

Std	Run	$X_1$	$X_2$	Abu	VM	FC
2	1	40	3	3,48	13,63	77,50
7	2	60	15	1,75	16,99	73,83
13	3	12	10	3,02	15,06	78,28
9	4	70	10	1,65	15,82	77,86
8	5	20	15	2,54	14,54	77,28
4	6	20	5	3,28	14,61	76,49
5	7	60	5	2,87	14,20	79,30
1	8	40	10	2,16	15,25	78,58
3	9	40	10	2,14	14,37	79,15
12	10	40	17	2,31	16,11	73,11
6	11	40	10	2,56	14,42	79,37
11	12	40	10	2,84	14,22	78,44
10	13	40	10	2,12	14,25	77,55

## Desain Percobaan

Tiga model empiris digunakan untuk memprediksi nilai kalor yang lebih tinggi (HHV) menggunakan informasi yang diberikan di Tabel 1. Persamaan (1) dari (Parikh et al., 2005), (2)

dari (Yin, 2011), dan (3) dari (Nhuchhen & Abdul Salam, 2012) didasarkan pada substansi FC, VM, dan Ash.

$$\text{HHV} = - 0,0078 \times \text{Abu} + 0,1559 \times \text{VM} + 0,353 \times \text{FC} \quad (1)$$

$$\text{HHV} = 0,2521 \times \text{FC} + 0,1905 \times \text{VM} \quad (2)$$

$$\text{HHV} = - 0,0022 \times \text{FC} / \text{VM} + 0,1625 \times \text{VM} + 0,0075 \times \text{Abu} + 0,3451 \times \text{FC} \quad (3)$$

### 3 Hasil dan Pembahasan

Hasil optimasi HHV pada ketiga model berdasarkan kandungan air, abu, bahan mudah menguap dan karbon tetap disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Respon model

Std	Run	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	HHV (Parikh et al., 2005)	HHV (Yin, 2011)	HHV (Nhuchhen & Abdul Salam, 2012)
2	1	40	3	29.46	22.13	28.97
7	2	60	15	28.7	21.85	28.24
13	3	12	10	29.96	22.6	29.47
9	4	70	10	29.94	22.64	29.44
8	5	20	15	29.53	22.25	29.04
4	6	20	5	29.25	22.07	28.78
5	7	60	5	30.18	22.69	29.68
1	8	40	10	30.1	22.72	29.6
3	9	40	10	30.16	22.69	29.65
12	10	40	17	28.3	21.5	27.86
6	11	40	10	30.25	22.76	29.74
11	12	40	10	29.88	22.48	29.39
10	13	40	10	29.58	22.27	29.08

Uji kesesuaian statistik pada Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai F untuk parameter respon ini memadai, yang menunjukkan bahwa kesesuaian model secara keseluruhan adalah signifikan. Selain itu, nilai R<sup>2</sup> yang mengukur proporsi varians data yang dijelaskan oleh model mendekati 1. Nilai R<sup>2</sup> yang tinggi ini menunjukkan bahwa model tersebut dapat memprediksi parameter respon dengan baik. Selain itu, perbedaan antara nilai R<sup>2</sup> yang diprediksi dan nilai R<sup>2</sup> yang disesuaikan, yang idealnya kurang dari 0,2, berada dalam kisaran yang dapat diterima, yang menunjukkan bahwa model tersebut tidak melakukan *overfitting* pada data, dapat digeneralisasikan terhadap data baru. Selain itu, nilai *Adeq Precision* untuk parameter respon ini melebihi 4, yang menunjukkan bahwa rasio *signal-to-noise* memadai untuk membuat prediksi dan dapat memperkirakan parameter respon dengan akurat. Kurangnya ketidaksesuaian yang signifikan secara statistik menyiratkan bahwa model tersebut dapat menjelaskan variabilitas data.

**Tabel 3.** Hasil statistik fit dari ketiga model yang diuji

Sumber	(Parikh et al., 2005)	(Yin, 2011)	(Nhuchhen, 2012)	
Model	17.50	12.63	17.21	penting
R <sup>2</sup>	0,93	0,90	0,93	penting
R <sup>2</sup> yang disesuaikan	0,87	0,83	0,87	penting

Prediksi R <sup>2</sup>	0,85	0,81	0,85	penting
Presisi yang memadai	12.66	10.50	12.56	penting
Kurangnya Kesesuaian	0,13	0,01	0,11	tidak signifikan

### Model Respon

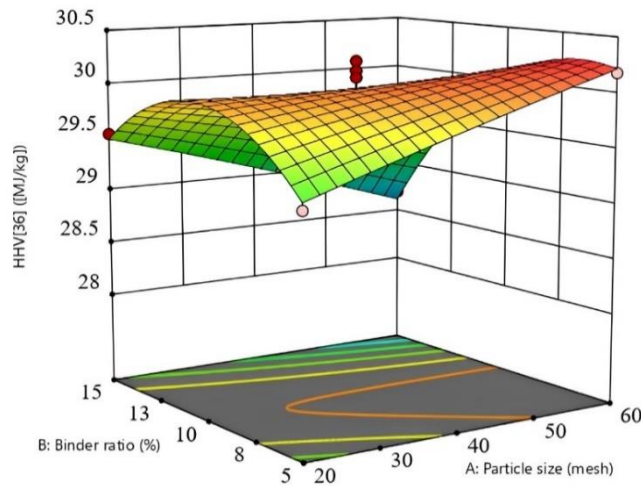
Model kuadrat diwakili oleh persamaan berikut:

$$HHV = 29,99 + 0,01 X_1 - 0,36 X_2 - 0,44 X_1 X_2 - 0,02 X_1^2 - 0,57 X_2^2 \quad \text{model parikh} \quad (4)$$

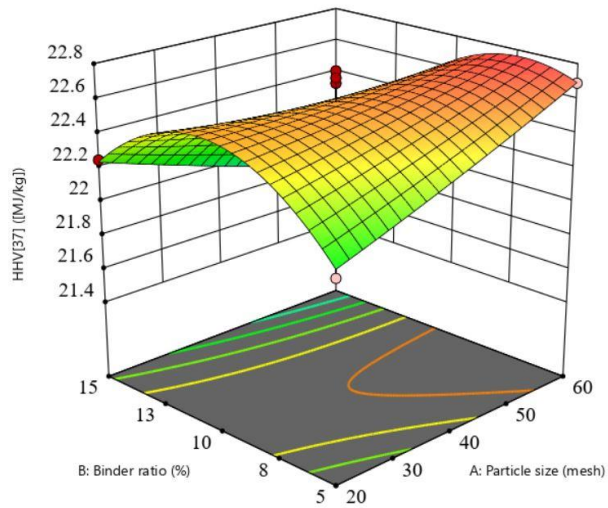
$$HHV = 22,58 + 0,03 X_1 - 0,19 X_2 - 0,26 X_1 X_2 - 0,02 X_1^2 - 0,39 X_2^2 \quad \text{model yin} \quad (5)$$

$$HHV = 29,49 + 0,01 X_1 - 0,34 X_2 - 0,43 X_1 X_2 - 0,02 X_1^2 - 0,54 X_2^2 \quad \text{model nhuchhen} \quad (6)$$

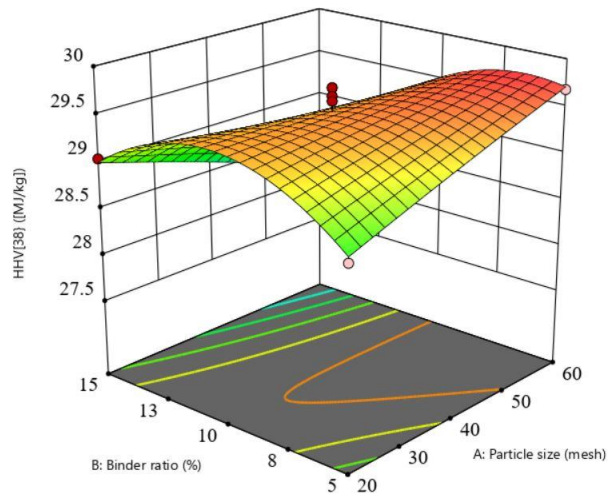
Rasio perekat yang lebih kecil dan partikel yang semakin halus (meningkatkan ukuran mata jaring) dikaitkan dengan peningkatan responivitas model, menurut analisis visual pada Gambar 1, 2, dan 3. Dengan rasio perekat 7,37% dan ukuran partikel 60 mesh, diperoleh hasil respon terbaik yang menghasilkan nilai respon sebagai berikut: HHV sebesar 29,71 (MJ/kg) untuk model (Parikh et al., 2005), HHV sebesar 22,48 (MJ/kg) untuk model (Yin, 2011), dan HHV sebesar 29,84 (MJ/kg) untuk model (Nhuchhen & Abdul Salam, 2012).



**Gambar 1.** Plot permukaan model Parikh



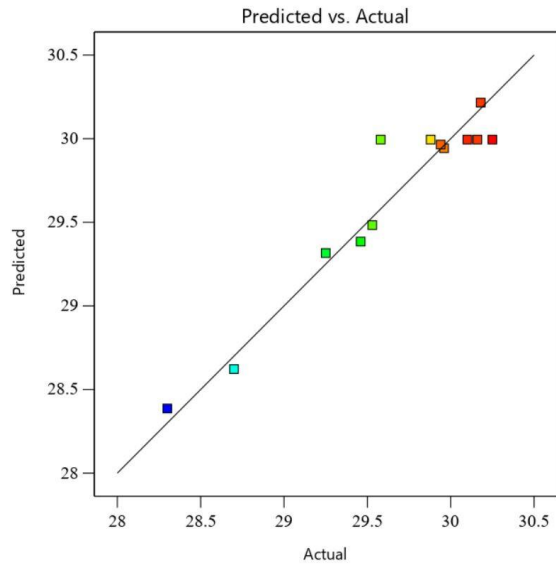
**Gambar 2.** Plot permukaan model Yin



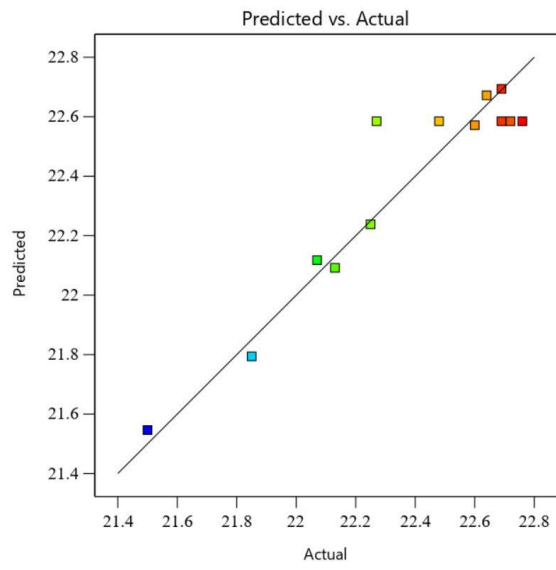
**Gambar 3.** Plot permukaan model Nhucchen

Keakuratan model dapat dinilai dengan membandingkan data penelitian yang sebenarnya dengan nilai yang diprediksi oleh model. Gambar 5, 6, dan 7 menggambarkan perbandingan ini, dengan nilai aktual direpresentasikan dalam kotak dan nilai prediksi dalam bentuk garis linier. Distribusi tersebut menunjukkan bahwa nilai-nilai penelitian yang sebenarnya tersebar di seluruh wilayah, ada yang selaras dan ada yang lebih jauh. Distribusi tersebut menunjukkan nilai  $R^2$  sebesar 0,95, yang menunjukkan kinerja model yang kuat. Nilai  $R^2$  yang lebih tinggi, mendekati 1, menunjukkan kecocokan model yang lebih baik. Namun perlu dicatat bahwa banyak nilai aktual yang sangat berbeda dari nilai prediksi.

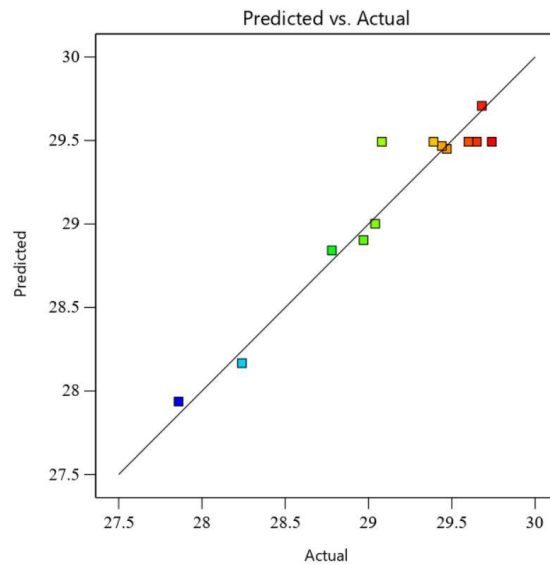




**Gambar 4.** Respon aktual dengan nilai respon yang diprediksi model Parikh



**Gambar 5.** Respon aktual dengan nilai respon yang diprediksi model Yin



**Gambar 6.** Respon aktual dengan nilai respon yang diprediksi model Nhuchhen

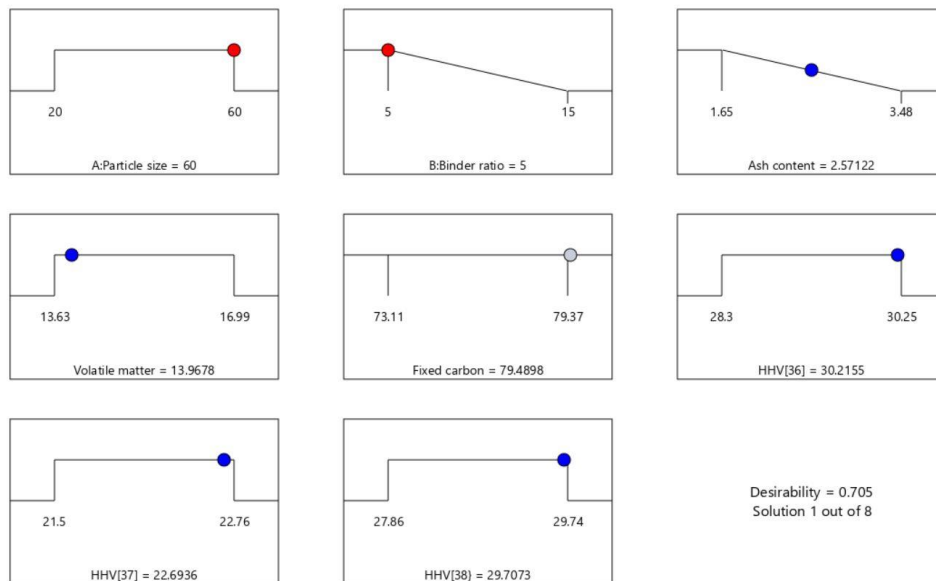
Berdasarkan hasil verifikasi parameter respon, model menghasilkan HHV (Parikh et al., 2005) 29,71 (MJ/kg) $\pm$ 0,21, HHV (Yin, 2011) 22,48 (MJ/kg) $\pm$ 0,16, dan HHV (Nhuchhen, 2012) 29,84 (MJ/kg) $\pm$ 0,21. Interval prediksi (PI) 95% dan interval kepercayaan (CI) 95% berada dalam rentang nilai parameter respon HHV dan ketiga model dapat digunakan untuk meramalkan parameter respon karena hasil pengujian model berada dalam rentang prediksi. Model Parikh dan Nhuchhen menunjukkan nilai  $R^2$  dan  $R^2$  yang disesuaikan yang lebih tinggi (0.93 dan 0.87) dibandingkan dengan model Yin (0.90 dan 0.83). Semua model menunjukkan lack of fit yang tidak signifikan, menunjukkan bahwa ketiga model cocok dengan data. Model Parikh dan Nhuchhen memiliki nilai *Adequate Precision* yang lebih tinggi (12.66 dan 12.56) dibandingkan dengan model Yin (10.50). Model Parikh dan Nhuchhen memberikan prediksi HHV yang lebih tinggi dan serupa (29.71 MJ/kg  $\pm$  0.21 dan 29.84 MJ/kg  $\pm$  0.21) dibandingkan dengan model Yin (22.48 MJ/kg  $\pm$  0.16). Semua model berada dalam rentang prediksi dan kepercayaan yang memadai.

Berdasarkan analisis di atas, Model Nhuchhen (2012) dapat dianggap sebagai model terbaik karena memiliki nilai  $R^2$  dan  $R^2$  yang disesuaikan yang tinggi (0.93 dan 0.87), menunjukkan akurasi yang baik, menunjukkan lack of fit yang tidak signifikan, menunjukkan kecocokan model yang baik, memiliki *Adequate Precision* yang tinggi (12.56), menunjukkan presisi yang baik, memberikan prediksi HHV yang tinggi dan akurat (29.84 MJ/kg  $\pm$  0.21). Oleh karena itu, model Nhuchhen memberikan kombinasi terbaik dari akurasi, kecocokan, presisi, dan prediksi yang memadai untuk digunakan dalam memprediksi nilai HHV biobriket daun kesambi.

Fungsi keinginan (Gambar. 7), dasar optimasi adalah persamaan regresi. Fungsi keinginan (*desirability function*) pada Gambar 7 digunakan untuk mengoptimalkan parameter

proses guna mencapai hasil yang diinginkan berdasarkan model yang telah dibuat. Fungsi keinginan membantu menentukan kombinasi optimal dari rasio perekat dan ukuran serbuk kesambi yang menghasilkan nilai HHV tertinggi untuk biobriket. Fungsi ini menggabungkan berbagai respon (seperti HHV dari model Parikh, Yin, dan Nhuchhen) menjadi satu metrik desirability yang berkisar antara 0 (respon tidak diinginkan) hingga 1 (respon sangat diinginkan). Nilai desirability yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut mendekati hasil yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian. Dengan demikian, Gambar 7 menunjukkan tingkat desirability dari model-model tersebut, membantu dalam memahami dan memilih parameter proses terbaik untuk menghasilkan briket bio dengan nilai kalori yang tinggi.

Kriteria in-range digunakan untuk menentukan kriteria variabel masukan. Kriteria variabel respon adalah sebagai berikut: HHV seluruh model menggunakan kriteria in-range; abu dengan kriteria minimal; FC dengan kriteria maksimal. Dengan menggunakan kriteria yang masuk akal, tingkat kepentingan ditetapkan untuk setiap persamaan regresi respon. Kondisi optimal optimum ditentukan dengan mengambil nilai gabungan keinginan yang paling tinggi.



**Gambar 7.** Keinginan model

#### 4 Kesimpulan

Rasio perekat dan ukuran partikel mempunyai dampak signifikan terhadap nilai kalor biobriket daun kesambi. Ketiga model Parikh, Yin dan Nhuchhen secara akurat memperkirakan nilai kalor (HHV) yang lebih tinggi untuk biobriket berdasarkan variabel-variabel ini. Model Parikh dan Nhuchhen menunjukkan nilai  $R^2$  dan  $R^2$  yang disesuaikan yang lebih tinggi (0.93 dan 0.87)

dibandingkan dengan model Yin (0.90 dan 0.83). Semua model menunjukkan lack of fit yang tidak signifikan, menunjukkan bahwa ketiga model cocok dengan data. Model Parikh dan Nhuchhen memiliki nilai Adequate Precision yang lebih tinggi (12.66 dan 12.56) dibandingkan dengan model Yin (10.50). Model Parikh dan Nhuchhen memberikan prediksi HHV yang lebih tinggi dan serupa (29.71 MJ/kg  $\pm$  0.21 dan 29.84 MJ/kg  $\pm$  0.21) dibandingkan dengan model Yin (22.48 MJ/kg  $\pm$  0.16). Semua model berada dalam rentang prediksi dan kepercayaan yang memadai.

## Daftar Pustaka

- Acar, S., & Ayanoglu, A. (2012). Determination of higher heating values (HHVs) of biomass fuels. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(2).
- Ahiduzzaman, M., & Sadrul Islam, A. K. M. (2016). Assessment of rice husk briquette fuel use as an alternative source of woodfuel. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(4). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v6i4.4854.g6948>
- Amen, R., Hameed, J., Albashar, G., Kamran, H. W., Hassan Shah, M. U., Zaman, M. K. U., Mukhtar, A., Saqib, S., Ch, S. I., Ibrahim, M., Ullah, S., Al-Sehemi, A. G., Ahmad, S. R., Klemeš, J. J., Bokhari, A., & Asif, S. (2021). Modelling the higher heating value of municipal solid waste for assessment of waste-to-energy potential: A sustainable case study. *Journal of Cleaner Production*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125575>
- Azni, M. A., Md Khalid, R., Hasran, U. A., & Kamarudin, S. K. (2023). Review of the Effects of Fossil Fuels and the Need for a Hydrogen Fuel Cell Policy in Malaysia. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/su15054033>
- Basu, P. (2018). Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory. In *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory*. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04056-1>
- Callejón-Ferre, A. J., López-Martínez, J. A., & López-Martínez, J. A. (2009). Briquettes of plant remains from the greenhouses of Almería (Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(3). <https://doi.org/10.5424/sjar/2009073-437>
- Costa, E. V. S., Pereira, M. P. de C. F., da Silva, C. M. S., Pereira, B. L. C., Rocha, M. F. V., & Carneiro, A. de C. O. (2019). Torrefied briquettes of sugar cane bagasse and eucalyptus. *Revista Arvore*, 43(1). <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000100001>
- Dashti, A., Noushabadi, A. S., Asadi, J., Raji, M., Chofreh, A. G., Klemeš, J. J., & Mohammadi, A. H. (2021). Review of higher heating value of municipal solid waste based on analysis and smart modelling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111591>
- Dethan, J. J. S., Bale-Therik, J. F., Telupere, F. M. S., Lalel, H. J. D., & Adisasmitho, S. (2024). *Characteristics of kesambi leaf torrefaction biomass*. 050016. <https://doi.org/10.1063/5.0193717>
- Dethan, J. J. S., Haba Bunga, F. J., Ledo, M. E. S., & Abineno, J. C. (2024). Characteristics of Residence Time of the Torrefaction Process on the Results of Pruning Kesambi Trees. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 13(1), 102. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v13i1.102-113>

- Dethan, J., & Lalel, H. (2024). Optimization of Particle Size of Torrefied Kesambi Leaf and Binder Ratio on the Quality of Biobriquettes. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 12(1), 1–21. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d12.0490>
- Dimiyati, T. T., & Kurniasih, D. (2020). Financial analysis of establishing micro industry of corn cobs briquettes in Majalengka Regency. *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(1). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v10i1.10382.g7856>
- Dirgantara, M., Kristian, N., Karelius, & Karelius. (2019). Evaluasi Prediksi Nilai Higher Heating Value (HHV) Biomassa Berdasarkan Analisis Ultimate. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(2). <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i2.218>
- El Hanandeh, A., Albalasmeh, A., & Gharaibeh, M. (2021). Effect of pyrolysis temperature and biomass particle size on the heating value of biocoal and optimization using response surface methodology. *Biomass and Bioenergy*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106163>
- Esteves, B., Sen, U., & Pereira, H. (2023). Influence of Chemical Composition on Heating Value of Biomass: A Review and Bibliometric Analysis. In *Energies* (Vol. 16, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/en16104226>
- Ganesapillai, M., Mehta, R., Tiwari, A., Sinha, A., Bakshi, H. S., Chellappa, V., & Drewnowski, J. (2023). Waste to energy: A review of biochar production with emphasis on mathematical modelling and its applications. In *Heliyon* (Vol. 9, Issue 4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14873>
- Górnicki, K., Kaleta, A., & Winiczenko, R. (2020). Estimating the higher heating value of forest and agricultural biomass. *E3S Web of Conferences*, 154. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401002>
- Hajad, M., Harianto, S., Karyadi, J. N. W., Mastur, A. I., Prayoga, M. K., Khomaen, H. S., Faustine, E., Nainggolan, I., Majid, F. A., Syahputra, M. H., & Adipradana, G. A. (2023). Potential and Characteristic of Biomass Pellet from Tea Plantation Wastes as Renewable Energy Alternative. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v12i3.619-631>
- Hwangdee, P., Jansiri, C., Sudajan, S., & Laloon, K. (2021). Physical Characteristics and Energy Content of Biomass Charcoal Powder. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(1). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i1.11658.g8122>
- Kartal, F., & Özveren, U. (2022). Prediction of torrefied biomass properties from raw biomass. *Renewable Energy*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.042>
- Kette, A. U. S., Dethan, J. J. S., Bunga, F. J. H., Banfatin, N., & Purwadi, R. (2024). Adding adhesive on making of waste bricket of eucalyptus oil refining. *THE 7TH BIOMEDICAL ENGINEERING'S RECENT PROGRESS IN BIOMATERIALS, DRUGS DEVELOPMENT, AND MEDICAL DEVICES: The 15th Asian Congress on Biotechnology in Conjunction with the 7th International Symposium on Biomedical Engineering (ACB-ISBE 2022)*, 3080. <https://doi.org/10.1063/5.0195318>
- Kieseler, S., Neubauer, Y., & Zobel, N. (2013). Ultimate and proximate correlations for estimating the higher heating value of hydrothermal solids. *Energy and Fuels*, 27(2). <https://doi.org/10.1021/ef301752d>

- Kujawska, J., Kulisz, M., Oleszczuk, P., & Cel, W. (2023). Improved Prediction of the Higher Heating Value of Biomass Using an Artificial Neural Network Model Based on the Selection of Input Parameters. *Energies*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/en16104162>
- Mari Selvam, S., & Balasubramanian, P. (2023). Influence of Biomass Composition and Microwave Pyrolysis Conditions on Biochar Yield and its Properties: a Machine Learning Approach. *Bioenergy Research*, 16(1). <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10447-9>
- Musabbikhah, Saptoadi, H., Subarmono, & Wibisono, M. A. (2019). Analysis and Selection of the Best Model of Biomass Briquette Based on Calorific Value. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012270>
- Nhuchhen, D. R., & Abdul Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.015>
- Parikh, J., Channiwal, S. A., & Ghosal, G. K. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, 84(5). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>
- Parnthong, J., Nualyai, S., Kraithong, W., Jiratanachotikul, A., Khemthong, P., Faungnawakij, K., & Kuboon, S. (2022). Higher heating value prediction of hydrochar from sugarcane leaf and giant leucaena wood during hydrothermal carbonization process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108529>
- Perera, F. (2018). Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 15, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/ijerph15010016>
- Pratiwi, Y., Waluyo, J., Widyawidura, W., & Aridito, M. N. (2019). Development of jackfruit peel waste as biomass energy: Case study for traditional food center in Yogyakarta. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(4). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v9i4.10131.g7827>
- Rani, I. T., Wahyu, H., Febryano, I. G., Iryani, D. A., & ... (2020). Effect of torefaction on the chemical properties of empty fruit bunch pellets. ... *Teknik Pertanian ...*, 9(1).
- Saleem, M. (2022). Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. In *Heliyon* (Vol. 8, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08905>
- Santos, F. D., Ferreira, P. L., & Pedersen, J. S. T. (2022). The Climate Change Challenge: A Review of the Barriers and Solutions to Deliver a Paris Solution. In *Climate* (Vol. 10, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/cli10050075>
- Sharma Timilsina, M., Sen, S., Uprety, B., Patel, V. B., Sharma, P., & Sheth, P. N. (2024). Prediction of HHV of fuel by Machine learning Algorithm: Interpretability analysis using Shapley Additive Explanations (SHAP). *Fuel*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129573>
- Sivabalan, K., Hassan, S., Ya, H., & Pasupuleti, J. (2021). A review on the characteristic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply. *Journal of Physics: Conference Series*, 1831(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1831/1/012033>
- Yin, C. Y. (2011). Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. *Fuel*, 90(3). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.031>