

## Optimasi Kadar *Ultimate* dan Tingkat Kebasaan Bio-arang Limbah Kayu Durian sebagai Pembenh Tanah

Heri Soedarmanto<sup>1,\*</sup>, Evy Setiawati<sup>2</sup>, Taufik Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basri Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

<sup>2</sup>Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru, Jl. Panglima Batur Barat No.2, Banjarbaru, Indonesia

<sup>3</sup>Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Jl. Telagawarna Tlogomas, Malang, Indonesia

Diterima : 22 September 2021, Revisi akhir : 20 Desember 2021, Disetujui terbit : 30 Desember 2021

### *The Optimization of Ultimate Levels and Basicity of Durian Wood Waste Biochar as Soil Amendment*

#### *Abstract*

*Biomass conversion through pyrolysis produces biochar, bio-oil and gas. Pyrolysis of biomass is influenced by pyrolysis conditions such as raw materials and pyrolysis temperature. The purpose of this study was to analyze the optimum conditions for ultimate levels (CHO) and pH of biochar based on the particle size of the durian wood waste and the pyrolysis temperature as soil amendment. Particle sizes of durian waste were 0.17–0.42 mm; 0.42–1.00 mm; and 1.00–2.83 mm in diameter where pyrolysis temperatures were 350°C; 450°C; and 550°C. Optimization was conducted by the Response Surface Methodology method. Based on the quadratic model, the optimum carbon content of biochar was 81.78% with the particle size at 2.09 mm and the pyrolysis temperature of 530.5°C. The optimum hydrogen content of biochar was 3.35% with a particle size of 2.89 mm and a pyrolysis temperature of 547.4°C. The optimum oxygen content of biochar was 12.22% with a particle size of 1.89 mm and a pyrolysis temperature of 529.5°C. The optimum pH of biochar was 8.35 with a particle size of 0.6 mm and a pyrolysis temperature of 521.8°C. The most optimal ultimate levels and pH were in the diameter size range of 0.6 mm–2.89 mm and pyrolysis temperature of 521.8°C–547.4°C.*

*Keywords: durian wood waste, pyrolysis, ultimate level, pH, biochar*

#### **Abstrak**

Konversi biomassa melalui pirolisis menghasilkan bio-arang, bio-minyak dan gas. Pirolisis biomassa dipengaruhi oleh kondisi pirolisis seperti bahan baku dan suhu pirolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kondisi optimum kadar *ultimate* (CHO) dan pH bio-arang berdasarkan ukuran partikel bahan baku limbah kayu durian dan suhu pirolisis sebagai pembenh tanah. Limbah kayu durian yang digunakan dalam penelitian ini berukuran diameter 0,17–0,42 mm; 0,42–1,00 mm; dan 1,00–2,83 mm, dengan variasi suhu pirolisis 350°C, 450°C, dan 550°C sebanyak tiga kali ulangan. Optimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology*. Berdasarkan model kuadratik, didapatkan kadar karbon optimum bio-arang sebesar 81,78% dengan ukuran partikel bahan baku pada 2,09 mm dan suhu pirolisis 530,5°C. Kadar hidrogen optimum bio-arang sebesar 3,35% dengan ukuran partikel bahan baku 2,89 mm dan suhu pirolisis 547,4°C. Kadar oksigen optimum bio-arang sebesar 12,22% dengan ukuran partikel bahan baku 1,89 mm dan suhu pirolisis 529,5°C. pH optimum bio-arang sebesar 8,35 dengan ukuran partikel bahan baku 0,6 mm dan suhu pirolisis 521,8°C. Kondisi proses terbaik untuk menghasilkan kadar *ultimate* dan pH yang paling optimal berada pada range ukuran diameter bahan baku 0,6 mm–2,89 mm dan suhu pirolisis sebesar 521,8°C–547,4°C.

Kata kunci: limbah kayu durian, pirolisis, kadar *ultimate*, pH, bio-arang

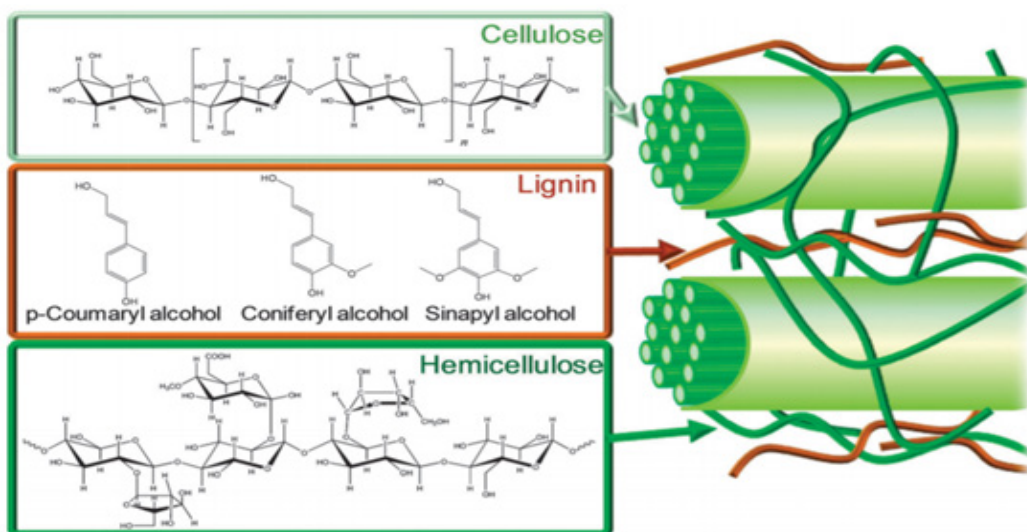
## Pendahuluan

Biomassa lignoselulosa adalah biomassa yang paling menjanjikan sebagai sumber karbon, karena tersedia secara luas di seluruh dunia dengan biaya yang relatif murah. Biomassa kayu terdiri dari tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin (**Gambar 1**). Pada proses termal/pirolisis, setiap fraksi lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dapat terlepas dari struktur. Hal ini menandakan bahwa selulosa, hemiselulosa, dan lignin semakin banyak yang terdekomposisi seiring dengan bertambahnya lama pirolisis (Alonso, Wettstein, and Dumesic, 2012). Limbah kayu durian (*Durio zibethinus*) adalah salah satu biomassa lignoselulosa dan berpotensi untuk dikembangkan. Secara ekonomis, limbah sebenarnya dapat diolah oleh pihak industri sebagai profit. Industri diwajibkan untuk mengolah limbah yang dihasilkannya. Jika nilai proper lingkungan yang dimiliki tidak memenuhi persyaratan, maka ada kemungkinan operasional pabrik ditutup.

Teknologi termokimia biomassa dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang lebih bernilai. Konversi termokimia berkaitan erat dengan suhu, lama proses, dan kehadiran oksigen. Pirolisis biomassa merupakan salah satu proses termal menghasilkan arang (bio-arang), minyak, dan gas (Mohan, Pittman, and Philip, 2017). Proses ini diterapkan dengan memanaskan bahan baku biomassa pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen (Bridgwater, 2012). Bio-arang merupakan residu padat kompleks yang unsur utamanya terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan bahan

anorganik. Bio-arang dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik (Sophia Ayyappan, Bhalambaal, and Kumar, 2018), mengurangi kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer dengan cara menyerap karbon dalam biomassa tanaman (Mohan *et al.*, 2018). Dalam penelitian ini, dilakukan optimasi bio-arang berbahan baku durian sebagai bahan pembenah tanah.

Bio-arang cocok digunakan sebagai pembenah tanah yang meningkatkan kesuburan tanah. Karakteristik bio-arang sebagai pembenah tanah dapat dilihat berdasarkan kadar C,H,O, dan pH. Bio-arang memiliki kandungan karbon yang tinggi, yang berkontribusi terhadap kandungan karbon tanah dan meningkatkan kesuburan tanah bila diterapkan langsung ke dalam tanah. Bio-arang dapat digunakan sebagai penyerap karbon jangka panjang, yang akan terbentuk ketika ada konversi besar biomassa menjadi spesies karbon tanah dengan waktu paruh yang panjang (Osman, Shamsuddin, and Uemura, 2016). Sebagai pembenah tanah, bio-arang mampu menahan air dan unsur hara di dalam tanah. Kadar hidrogen dalam bio-arang dapat mempercepat dekomposisi tanah (Almeida, 2015), sedangkan kadar oksigen dalam bio-arang mampu memfasilitasi kapasitas tukar kation dalam tanah (Mohan *et al.*, 2018). pH bio-arang dapat bersifat asam hingga basa, berkisar antara 4,6–9,3, tergantung pada suhu pirolisis. Secara umum, semakin tinggi suhu pirolisis, pH bio-arang yang dihasilkan juga meningkat. Semakin tinggi pH bio-arang, maka nutrisi tanah makin meningkat (Jahromi *et al.*, 2019).



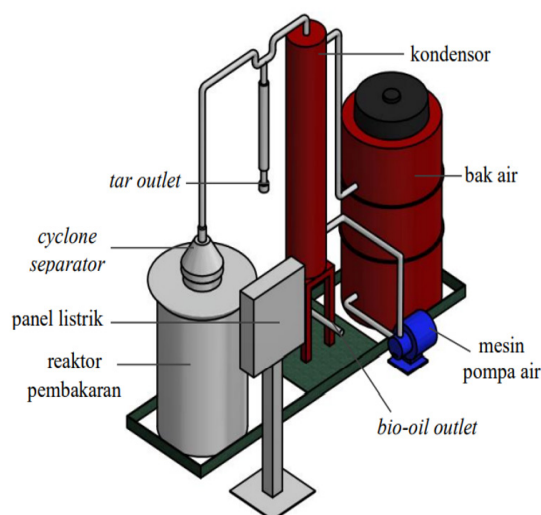
**Gambar 1.** Komponen utama biomassa (Alonso, Wettstein and Dumesic, 2012)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi optimum kadar *ultimate* dan pH bio-arang berdasarkan ukuran partikel bahan baku limbah kayu durian dan suhu pirolisis. Penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa bio-arang tergantung pada bahan baku dan suhu pirolisis. pH bio-arang berfungsi untuk menetralkan pH tanah yang bersifat masam. Selain itu, analisis penting lainnya untuk karakterisasi bio-arang adalah pengukuran kandungan karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N) (atau CHON), juga dikenal sebagai analisis unsur elemental. Unsur C merupakan elemen utama bio-arang, sedangkan O adalah elemen kunci yang mempengaruhi reaktivitas bio-arang pada tanah (Bakshi *et al.*, 2020). Unsur CHO dapat bersama-sama mengikat nutrisi dan mineral dalam tanah (Batista *et al.*, 2018). Secara umum, semakin tinggi suhu dan lama pirolisis, semakin sedikit CHO yang tersisa dalam produk padat (bio-arang). Kandungan unsur CHON bio-arang tergantung pada bahan baku biomassa sedangkan suhu pirolisis memiliki pengaruh besar pada gugus fungsi dan kimia struktural bio-arang (Amonette and Joseph, 2009). Proses pirolisis mendukung eliminasi H dan O daripada C dari fase organik dan peningkatan suhu pirolisis mendorong terjadinya eliminasi H dan O. Namun, peningkatan suhu pirolisis juga mendorong pembentukan fase anorganik, terutama karbonat, yang mengandung O dan C. Karbon juga merupakan elemen utama dalam struktur aromatik, yang mendominasi fase organik bio-arang, sementara O adalah elemen kunci dalam gugus fungsi organik polar pada permukaan bio-arang, yang mempengaruhi reaktivitas bio-arang di lingkungan tanah. Sehingga, O dan C adalah konstituen dari fase organik dan anorganik di sebagian besar bio-arang (Harvey *et al.*, 2011). Ukuran partikel juga berpengaruh terhadap kualitas bio-arang. Ukuran partikel bio-arang yang dihasilkan pada laju pirolisis yang rendah lebih mirip dengan ukuran partikel bahan baku sebelum pirolisis. Jika bahan baku digiling menjadi partikel 1 mm, maka sebagian besar bio-arang yang dihasilkan juga berada dalam kisaran 1 mm (Brewer, 2012).

## Bahan dan Metode

Bahan baku penelitian ini adalah limbah kayu durian (*Durio zibethinus*) dan seperangkat alat pirolisis seperti yang disajikan pada **Gambar 2**. Unit pirolisis terdiri dari reaktor *stainless steel*

berbentuk silinder kapasitas 1,5 kg, tersambung dengan *cyclone separator* dan kondensor.



**Gambar 2.** Seperangkat alat pirolisis

Kadar C, H, O, N, dan nilai pH kayu durian yang digunakan dalam penelitian ini berturut-turut adalah 47,42%; 6,52%; 44,43%; 0,15%; dan 5,47. Proses pembuatan bio-arang dilakukan di Universitas Tribhuwana Tunggadewi (Unitri Malang). Limbah kayu durian terlebih dahulu diolah menjadi ukuran yang lebih kecil menggunakan mesin penggiling lalu diayak menjadi 3 (tiga) jenis ukuran partikel.

Masing-masing ukuran limbah kayu durian sebanyak 1,5 kg, dimasukkan dalam tungku pirolisis, dengan *holding time* pirolisis secara isothermal selama 2 (dua) jam menggunakan variasi suhu. Waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu dari suhu kamar sampai suhu pirolisis adalah sekitar 15-20 menit. Optimasi proses pirolisis menggunakan faktor-faktor, meliputi:

1. Ukuran serbuk kayu (A), terdiri dari tiga taraf diameter, yaitu  $a_1=0,17\text{ mm}-0,42\text{ mm}$ ,  $a_2=0,42\text{ mm}-1,00\text{ mm}$ ,  $a_3=1,00\text{ mm}-2,83\text{ mm}$
2. Suhu pirolisis (B) yang terdiri dari tiga taraf, yaitu  $b_1=350^\circ\text{C}$ ,  $b_2=450^\circ\text{C}$ , dan  $b_3=550^\circ\text{C}$

## Metode Analisis Data dan Rancangan Percobaan

Analisis statistik pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan 2 faktorial, masing-masing

terdiri dari 3 taraf. Perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Metodologi respon permukaan menggunakan model matematis polinomial orde satu atau orde dua. Persamaan umum untuk model matematis polinomial orde dua sesuai Persamaan 1.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i,j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \dots(1)$$

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$  adalah koefisien regresi untuk intersep model (linear/kuadratik), sedangkan  $x_i, x_j$  adalah variabel independen.

Kondisi optimum didapat dari turunan pertama dari model matematis yang didapat, dengan prasyarat turunan model matematis sama dengan nol (Oramahi and Diba, 2013). RSM ini menggunakan Desain Komposit Sentral (*Central Composite Design/CCD*) seperti disajikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Desain komposit sentral faktor dan taraf

Faktor	-1	0	1
Ukuran partikel serbuk kayu (mm)	0,17-0,42	0,42-1,00	1,00-2,83
Suhu pirolisis (°C)	350	450	550

Keterangan:

-1: nilai terendah, 0: nilai tengah/medium, 1: Nilai tertinggi

Optimasi RSM dianalisis menggunakan *software design expert 7.1.6 trial version* untuk regresi polinomial dan untuk menggambarkan bentuk 3 dimensinya. Faktor/variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar *ultimate* bio-arang, terdiri dari CHO dan pH.

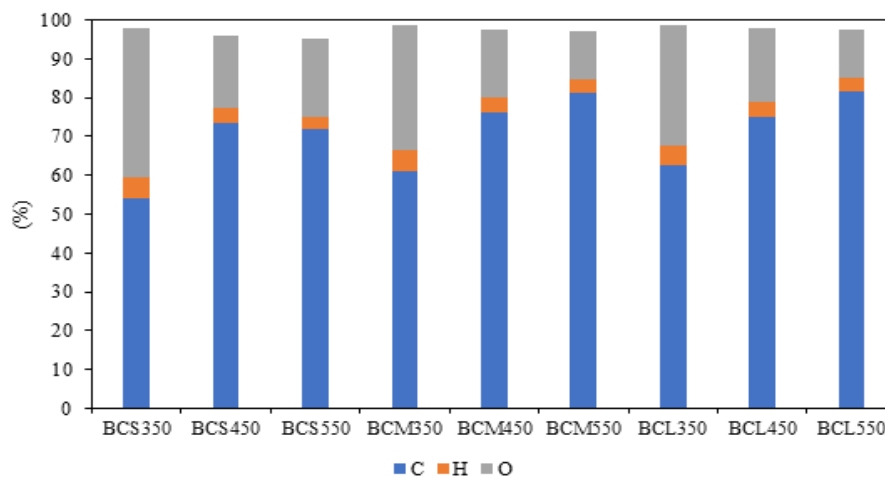
Analisis *ultimate* kadar karbon C dan H bio-arang menggunakan *elemental analyzer* tipe LECO CHN 628 berdasarkan ASTM D.5373, sedangkan kadar O dianalisis menurut ASTM D.3176. pH bio-arang dianalisa menggunakan pH meter dengan perbandingan bio-arang : air sebesar 1:5 (Zhao *et al.*, 2017).

## Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Bio-arang Limbah Kayu Durian

Pada penelitian tahap ini digunakan bahan baku serbuk kayu durian dengan variasi ukuran partikel dan suhu pirolisis: ukuran serbuk 0,17–0,42 mm dengan suhu pirolisis 350°C (BCS350), suhu pirolisis 450°C (BCS450), dan suhu pirolisis 550°C (BCS550); ukuran serbuk 0,42–1,00 mm dengan suhu pirolisis 350°C (BCM350), suhu pirolisis 450°C (BCM450), dan suhu pirolisis 550°C (BCM550); ukuran serbuk 1,00–2,83 mm dengan suhu pirolisis 350°C (BCL350), suhu pirolisis 450°C (BCL450), dan suhu pirolisis 550°C (BCL550). Kadar *ultimate* bio-arang kayu durian pada berbagai suhu pirolisis dan ukuran partikel disajikan pada **Gambar 3**, sedangkan pH disajikan pada **Tabel 2**.

Pada **Gambar 3** terlihat bahwa unsur C dalam bio-arang meningkat seiring dengan peningkatan suhu pirolisis dan ukuran partikel bahan baku, sebaliknya untuk unsur H dan O yang menurun seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. pH bio-arang limbah kayu durian (**Tabel 2**) meningkat seiring dengan kenaikan suhu pirolisis. Peningkatan kandungan karbon dalam bio-arang berhubungan dengan peningkatan derajat



**Gambar 3.** Analisis *ultimate* bio-arang kayu durian

**Tabel 2.** Nilai pH bio-arang kayu durian

No.	Bio-arang	nilai pH
1	BCS350	5,99
2	BCS450	7,89
3	BCS550	8,23
4	BCM350	5,88
5	BCM450	8,13
6	BCM550	8,48
7	BCL350	6,76
8	BCL450	8,44
9	BCL550	8,64

karbonisasi. Bio-arang memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dan oksigen yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan baku limbah kayu durian. Berdasarkan hasil analisis bio-arang, kandungan karbon meningkat dari 54,00% menjadi 72,02% pada ukuran partikel halus (BCS), dan 61,11% menjadi 81,43% pada ukuran partikel sedang (BCM), serta 62,57% menjadi 81,82% pada ukuran partikel kasar (BCL) dikarenakan suhu pirolisis meningkat dari 350 menjadi 550 °C. Partikel bio-arang kasar, yaitu berukuran 1,00-2,83 mm menyebabkan pengayaan bio-arang dengan karbon lebih banyak (81,82%) dibandingkan dengan partikel halus (BCS) berukuran 0,170-0,147 mm (72,02%). Berbeda dengan Abbas *et al.*, (2018), yang menyatakan partikel halus <200 mesh (<0,074 mm) menyebabkan pengkayaan karbon dalam bio-arang dibandingkan dengan mesh kasar, yaitu 10-50 mesh (2,00-0,297 mm). Partikel biomassa kasar (ukuran 10–50 mesh) menyebabkan derajat aromatisasi meningkat. Semakin besar ukuran partikel bio-arang, menyebabkan proses pengapian yang tinggi dikarenakan penurunan luas permukaan dan volume sehingga proses pembakaran lebih cepat. Hal ini menyebabkan kadar karbon meningkat.

Kandungan hidrogen bio-arang menurun dari 5,47% menjadi 3,00% pada ukuran partikel halus (BCS), dan 5,44% menjadi 3,31% pada ukuran partikel sedang (BCM), serta 5,17% menjadi 3,36% pada ukuran partikel kasar (BCL). Kandungan oksigen bio-arang juga menurun dari 38,51% menjadi 20,27% pada ukuran partikel halus (BCS), dan 32,03% menjadi 12,29% pada ukuran partikel sedang (BCM), serta 31,03% menjadi 12,27% pada ukuran partikel kasar (BCL). Pengurangan kandungan hidrogen dan

oksigen dikarenakan adanya degradasi termal lignoselulosa menjadi komponen volatil dengan pemutusan ikatan lemah atau dapat dikaitkan dengan pemotongan gugus fungsi karboksil dan hidroksil dan pengembangan struktur yang stabil (Imam and Capareda, 2012). Tren serupa juga dilaporkan oleh Onay (2007), penurunan oksigen dan hidrogen dapat dijelaskan dengan adanya pemutusan ikatan yang lebih lemah dalam struktur bio-arang menjadi sangat kaya karbon pada suhu pirolisis yang lebih tinggi.

Menurut Zaccheo, Crippa, and Cattivello (2014), bio-arang yang memiliki *granulometry* halus dapat lebih efektif dalam meningkatkan pH. Namun dalam penelitian ini, suhu pirolisis memiliki pengaruh yang besar terhadap pH bio-arang dibandingkan ukuran partikel. Peningkatan suhu pirolisis akan meningkatkan pH bio-arang yang dihasilkan karena akan menyebabkan kadar abu yang lebih tinggi. Komposisi mineral Mg, Ca, K, dan P yang terdapat dalam bio-arang mampu meningkatkan kadar abu. Kandungan abu yang lebih tinggi dalam biomassa menghasilkan bio-arang dengan nilai pH yang lebih tinggi. Hal ini juga tergantung pada karakteristik bahan baku yang digunakan (Tag *et al.*, 2016).

Ukuran partikel bio-arang memainkan peran penting dalam mengendalikan penyimpanan air tanah karena mereka mengubah karakteristik pori. Bio-arang berukuran medium dapat menyebabkan menurunnya air yang disimpan karena rusaknya intra pori yang disebabkan oleh penggilingan bio-arang menjadi partikel yang lebih kecil (Liu *et al.*, 2017). Bio-arang dengan ukuran partikel lebih besar (>2 and 2–0.5 mm) memiliki kemampuan retensi air lebih baik (Edeh and Mašek, 2021). Oleh karena itu bio-arang ukuran kecil lebih disukai karena memiliki total luas permukaan lebih besar sehingga daya adsorpsinya lebih besar.

### Optimasi Kadar *Ultimate* Bio-arang Limbah Kayu Durian

Optimasi respon kadar C, H, O, dan pH terhadap variasi ukuran partikel dan suhu pirolisis diuji menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) menggunakan desain komposit sentral (*Central Composite Design*, CCD). Persamaan *respon surface* dan prediksi kondisi optimum suhu pirolisis dan ukuran partikel disajikan pada **Tabel 3**. Adapun pengaruh interaksi respon variabel uji terhadap ukuran partikel bahan baku dan suhu pirolisis beserta level *isoquant* disajikan

pada **Gambar 4**. Prediksi kondisi optimum suhu pirolisis dan ukuran partikel didapatkan dari hasil interpolasi persamaan *response surface methodology* menggunakan Persamaan 2.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) \quad \dots (2)$$

Berdasarkan **Tabel 3** dan **Gambar 4**, tampak bahwa kadar karbon optimum bio-arang yaitu sebesar 81,78% dengan ukuran partikel optimum limbah kayu durian pada 2,09 mm dan suhu pirolisis 530,5°C. Kadar hidrogen optimum bio-arang limbah kayu durian yaitu sebesar 3,35% dengan ukuran partikel limbah kayu pada 2,29 mm dan suhu pirolisis 547,4°C. Kadar oksigen optimum bio-arang limbah kayu durian yaitu sebesar 12,22% dengan ukuran partikel limbah kayu pada 1,89 mm dan suhu pirolisis 529,5°C. Nilai pH optimum bio-arang limbah kayu durian yaitu sebesar 8,35 dengan ukuran partikel limbah kayu durian pada 0,60 mm dan suhu pirolisis 521,8°C.

Oramahi *et al.* (2015) melaporkan bahwa semakin tinggi nilai R<sup>2</sup> menunjukkan bahwa model dapat diterapkan secara efisien untuk memprediksi kualitas bio-arang limbah kayu durian. Pada **Tabel 2**, Nampak bahwa koefisien determinasi model regresi (R<sup>2</sup>) adalah 0,971 untuk hasil kadar karbon bio-arang. Artinya menunjukkan bahwa 97,1% variabilitas dapat dijelaskan oleh model, hanya menyisakan 2,9% variabilitas residu, sedangkan koefisien determinasi model regresi (R<sup>2</sup>) kadar hidrogen adalah 0,999, kadar oksigen 0,966 dan pH 0,988.

Hasil analisis ragam (ANOVA) respon kadar karbon berdasarkan Design Expert 7.1.6 (*Trial Version*) ditampilkan pada **Tabel 4 – Tabel 7**. Pada **Tabel 4** terlihat bahwa *p-value* <0,05,

yang berarti ukuran partikel dan suhu pirolisis berpengaruh signifikan terhadap kadar karbon. Hal ini menunjukkan bahwa suhu pirolisis dan ukuran partikel adalah faktor yang penting terhadap kadar karbon bio-arang limbah kayu durian.

Pada **Tabel 5** terlihat bahwa *p-value* <0,05, yang berarti ukuran partikel dan suhu pirolisis berpengaruh signifikan terhadap kadar hidrogen. Hal ini menunjukkan bahwa dalam model, suhu pirolisis, kombinasi suhu pirolisis dan ukuran partikel adalah faktor yang penting terhadap kadar hidrogen bio-arang limbah kayu durian. Ukuran partikel tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar hidrogen.

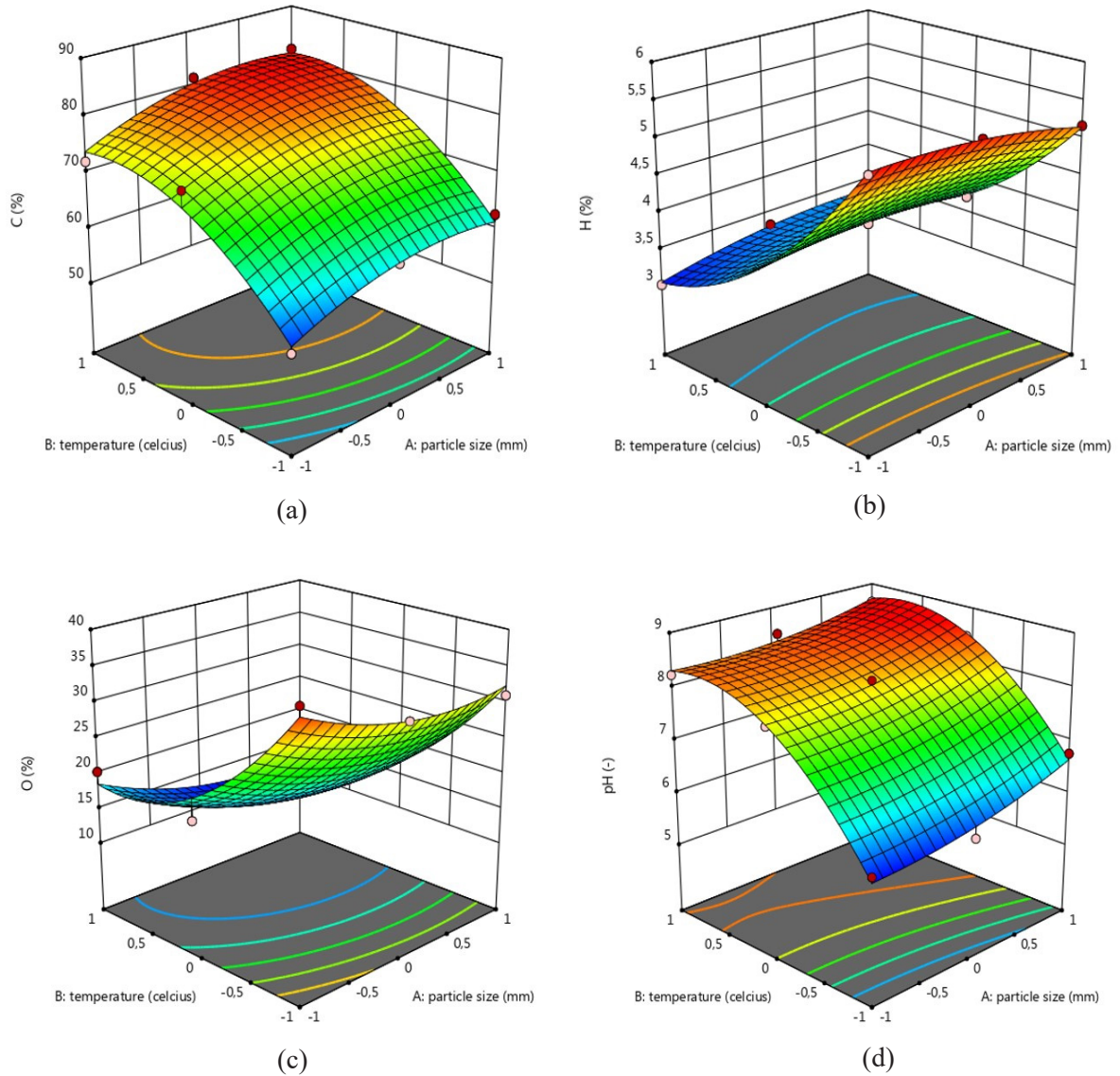
Pada **Tabel 6** terlihat bahwa *p-value* <0,05, yang berarti model ukuran partikel dan suhu pirolisis yang dihasilkan berpengaruh signifikan terhadap kadar oksigen. Pada **Tabel 6** terlihat bahwa model dan suhu pirolisis adalah faktor yang penting terhadap kadar oksigen bio-arang limbah kayu durian. Ukuran partikel tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar oksigen.

Pada **Tabel 7** terlihat bahwa *p-value* <0,05, yang berarti model ukuran partikel dan suhu pirolisis yang dihasilkan berpengaruh signifikan terhadap kadar oksigen. Pada **Tabel 6** terlihat bahwa suhu pirolisis, dan ukuran partikel adalah faktor yang penting terhadap pH bio-arang limbah kayu durian. Ketebalan partikel yang lebih rendah dan tingginya luas permukaan spesifik memungkinkan lebih banyak panas untuk mencapai bagian dalam partikel bio-arang yang lebih halus, meningkatkan logam alkali tanah dalam fraksi abu dan mengurangi gugus fungsi bermuatan negatif (misalnya: kelompok karboksil) sehingga berpengaruh terhadap pH (Novak *et al.*, 2009).

**Tabel 3.** *Respon surface* pengaruh ukuran partikel dan suhu pirolisis

z	Persamaan ukuran partikel serbuk kayu dan suhu pirolisis terhadap karakter bio-arang	R <sup>2</sup>	Optimum		
			x	y	z
C (%)	$z = 76,919 - 3,023 x^2 - 6,078 y^2 + 3,350 z + 9,598 y + 0,307 xy$	0,971 <sup>s</sup>	2,09	530,50	81,78
H (%)	$z = 3,874 - 0,107 x^2 + 0,488 y^2 - 0,010 x - 1,008 y + 0,165 xy$	0,999 <sup>s</sup>	2,29	547,40	3,35
O (%)	$z = 16,597 + 2,720 x^2 + 5,990 y^2 - 2,543 x - 9,457 y - 0,130 xy$	0,966 <sup>s</sup>	1,89	529,50	12,22
pH	$z = 8,045 + 0,162 x^2 - 0,823 y^2 + 0,288 x + 1,120 y + 1,162 xy$	0,988 <sup>s</sup>	0,60	521,80	8,35

Keterangan: x=ukuran partikel (mm), y=suhu pirolisis (°C), z=karakteristik bio-arang, s = signifikan



**Gambar 4.** Kurva pengaruh respon suhu pirolisis dan ukuran partikel terhadap (a) Carbon; (b) Hidrogen; (c) Oksigen; (d) pH

**Tabel 4.** Hasil analisis ragam respon kadar karbon bio-arang

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Statement
Model	712,65	5	142,53	20,23	0,0162	Significant
A-particle size	67,34	1	67,34	9,56	0,0536	
B-temperature	552,77	1	552,77	78,47	0,0030	
AB	0,3782	1	0,3782	0,0537	0,8317	
A <sup>2</sup>	18,28	1	18,28	2,60	0,2056	
B <sup>2</sup>	73,89	1	73,89	10,49	0,0479	
Residual	21,13	3	7,04			
Cor Total	733,79	8				

**Tabel 5.** Hasil analisis ragam respon kadar hidrogen bio-arang

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Statement
Model	7,46	5	1,49	503,99	0,0001	Significant
A-particle size	0,0006	1	0,0006	0,2028	0,6831	
B-temperature	6,85	1	6,85	2314,10	<0,0001	
AB	0,1089	1	0,1089	36,80	0,0090	
A <sup>2</sup>	0,0228	1	0,0228	7,69	0,0694	
B <sup>2</sup>	0,4769	1	0,4769	161,17	0,0011	
Residual	0,0089	3	0,0030			
Cor Total	7,47	8				

**Tabel 6.** Hasil analisis ragam respon kadar oksigen bio-arang

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Statement
Model	662,01	5	132,40	17,07	0,026	Significant
A-particle size	38,81	1	38,81	5,00	0,1113	
B-temperature	536,57	1	536,57	69,17	0,0036	
AB	0,068	1	0,068	0,0087	0,9315	
A <sup>2</sup>	14,80	1	14,80	1,91	0,2611	
B <sup>2</sup>	71,76	1	71,76	9,25	0,0558	
Residual	23,27	3	7,76			
Cor Total		8				

**Tabel 7.** Hasil analisis ragam respon pH bio-arang

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Statement
Model	9,47	5	1,89	49,92	0,0043	Significant
A-particle size	0,4988	1	0,4988	13,15	0,0361	
B-temperature	7,53	1	7,53	198,45	0,0008	
AB	0,0324	1	0,0324	0,8543	0,4235	
A <sup>2</sup>	0,0523	1	0,0523	1,38	0,3251	
B <sup>2</sup>	1,36	1	1,36	35,75	0,0094	
Residual	0,1138	3	0,0379			
Cor Total	9,58	8				

## Kesimpulan

Kondisi optimum proses produksi bio-arang berbahan baku limbah kayu durian yaitu kadar karbon optimum bio-arang yaitu sebesar 81,78% dengan ukuran partikel optimum limbah kayu durian pada 2,09 mm dan suhu pirolisis 530,5°C. Kadar hidrogen optimum bio-arang limbah kayu durian yaitu sebesar 3,35%

dengan ukuran partikel limbah kayu pada 2,29 mm dan suhu pirolisis 547,4°C. Kadar oksigen optimum bio-arang limbah kayu durian yaitu sebesar 12,22% dengan ukuran partikel limbah kayu pada 1,89 mm dan suhu pirolisis 529,5°C. Nilai pH optimum bio-arang limbah kayu durian yaitu sebesar 8,35 dengan ukuran partikel limbah kayu durian pada 0,60 mm dan suhu pirolisis 521,8°C. Secara umum, kondisi



proses untuk menghasilkan kadar *ultimate* dan pH yang paling optimal berada pada range ukuran diameter bahan baku 0,6 mm–2,89 mm dan suhu pirolisis sebesar 521,8°C–547,4°C.

#### Daftar Pustaka

- Abbas, Q., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Ullah, H., Munir, M. A. M. and Liu, R. (2018) 'Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Elsevier, 134(December 2017), pp. 281–292. doi: 10.1016/j.jaap.2018.06.018.
- Almeida, I.S.d. R. A. (2015) *Hydrogen-to-carbon ratio versus char yield in biomass slow pyrolysis*, Master of Science Degree in Biological Engineering. Technico.
- Alonso, D. M., Wettstein, S. G. and Dumesic, J. A. (2012) 'Bimetallic catalysts for upgrading of biomass to fuels and chemicals', *Chemical Society Reviews*, 41(24), pp. 8075–8098. doi: 10.1039/c2cs35188a.
- Amonette, J. and Joseph, S. (2009) 'Characteristics of biochar: micro chemical properties', in Lehmann, J. and Joseph, S. (eds) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan, pp. 33–52. doi: 10.4236/am.2012.36076.
- Awasthi, M. K., Wang, M., Chen, H., Wang, Q., Zhao, J., Ren, X., Li, D. sheng, Awasthi, S. K., Shen, F., Li, R. and Zhang, Z. (2017) 'Heterogeneity of biochar amendment to improve the carbon and nitrogen sequestration through reduce the greenhouse gases emissions during sewage sludge composting', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 224, pp. 428–438. doi: 10.1016/j.biortech.2016.11.014.
- Bakshi, S., Banik C. and Laird, D.A. (2020) 'Estimating the organic oxygen content of biochar', *Scientific Reports* 10:13082. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69798-y>.
- Batista, E.M.C.C., Shultz, J., Matos, T.T.S., Fornari, M.R., Ferreira, T.M., Szpoganicz, B., de Freitas, R.A., Mangri, A.S. (2018) 'Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome'. *Scientific Reports* 8:10677. DOI:10.1038/s41598-018-28794-z
- Brewer, C. E. (2012) *Biochar characterization and engineering, Graduate Theses and Dissertations*. Iowa State University. doi: 10.31274/etd-180810-2233.
- Bridgwater, A. V. (2012) 'Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading', *Biomass and Bioenergy*. 38, pp. 68–94. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048.
- Edeh, I. G. and Mašek, O. (2021) 'The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties', *European Journal of Soil Science*, pp. 1–14. doi: 10.1111/ejss.13138.
- Harvey, O. R., Herbert, B. E., Rhue, R. D. and Kuo, L. J. (2011) 'Metal interactions at the biochar-water interface: Energetics and structure-sorption relationships elucidated by flow adsorption microcalorimetry', *Environmental Science and Technology*, 45(13), pp. 5550–5556. doi: 10.1021/es104401h.
- Imam, T. and Capareda, S. (2012) 'Characterization of bio-oil, syn-gas and biochar from switchgrass pyrolysis at various temperatures', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 93, pp. 170–177. doi: 10.1016/j.jaap.2011.11.010.
- Jahromi, N. B., Fulcher, A. and Walker F. (2019). *What is biochar and how diferent biochars can improve your crops*, The University of Tennessee, Publication W829.
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A. and Gonnermann, H. M. (2017) 'Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties', *PLoS ONE*, 12(6), pp. 1–19. doi: 10.1371/journal.pone.0179079.
- Mohan, D., Abhishek, K., Sarswat, A., Patel, M., Singh, P. and Pittman, C. U. (2018) 'Biochar production and applications in soil fertility and carbon sequestration-a sustainable solution to crop-residue burning in India', *RSC Advances*. Royal Society of Chemistry, 8(1), pp. 508–520. doi: 10.1039/c7ra10353k.
- Mohan, D., Pittman, C. U. and Philip, S. (2017) 'Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review Dinesh', *Progress in Energy and Combustion Science*, 62(4), pp. 848–889. doi: 10.1016/j.peccs.2017.05.004.
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J., Steiner, C., Das, K., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D. and Busscher, W. (2009) 'Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand', *Annals of Environmental Science*, 3(1), pp. 195–206.

- Onay, O. (2007) 'Influence of pyrolysis temperature and heating rate on the production of bio-oil and char from safflower seed by pyrolysis, using a well-swept fixed-bed reactor', *Fuel Processing Technology*, 88(5), pp. 523–531. doi: 10.1016/j.fuproc.2007.01.001.
- Oramahi, H. A., Wahdina, Diba, F., Nurhaida and Yoshimura, T. (2015) 'Optimization of production of lignocellulosic biomass bio-oil from oil palm trunk', *Procedia Environmental Sciences*. 28, pp. 769–777. doi: 10.1016/j.proenv.2015.07.090.
- Oramahi, H. A. and Diba, F. (2013) 'Maximizing the production of liquid smoke from bark of durio by studying its potential compounds', *Procedia Environmental Sciences*. 17, pp. 60–69. doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.012.
- Osman, N. B., Shamsuddin, N. and Uemura, Y. (2016) 'Activated carbon of oil palm empty fruit bunch (EFB); core and shaggy', *Procedia Engineering*. 148, pp. 758–764. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.610.
- Setiawati, E., Prijono, S., Mardiana, D., Annisa, W. and . S. (2019) 'Effects of durian wood waste biochar on acid sulphate soil properties and rice yield in Indonesia', *Journal of Agronomy*, 18(2), pp. 71–79. doi: 10.3923/ja.2019.71.79.
- Sophia Ayyappan, C., Bhalambaal, V. M. and Kumar, S. (2018) 'Effect of biochar on bio-electrochemical dye degradation and energy production', *Bioresource Technology*, 251, pp. 165–170. doi: 10.1016/j.biortech.2017.12.043.
- Tag, A. T., Duman, G., Ucar, S. and Yanik, J. (2016) 'Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Elsevier B.V., 120, pp. 200–206. doi: 10.1016/j.jaap.2016.05.006.
- Zaccheo, P., Crippa, L. and Cattivello, C. (2014) 'Liming power of different particle fractions of biochar', *Acta Horticulturae*, 1034, pp. 363–368. doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1034.45.
- Zhao, S-X., Ta, N., Wang, X.D. (2017). 'Effect of temperature on the structural and physicochemical properties of biochar with apple tree branches as feedstock material'. *Energies*, 10, 1293; doi:10.3390/en10091293