

KARAKTERISTIK DAN DAYA JERAP POLUTAN ARANG AKTIF DARI BATANG KENAF (*Hibiscus cannabinus* L.) (*Characteristics and Pollutant Adsorption Capacity of Activated Charcoal Made From Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.)*)

Muhammad Sadir¹, Dede Hermawan^{1*}, Ismail Budiman², Gustan Pari³ & Jajang Sutiawan^{1,4}

¹Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

²Pusat Riset Biomaterial BRIN

³Pusat Standardisasi dan Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan

⁴Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Sumatera Utara, Medan

Email: dedehe@apps.ipb.ac.id

Diterima 19 Juli 2018, direvisi 4 Maret 2021, disetujui 4 Februari 2022

ABSTRACT

Kenaf is one of the plants fiber that deries kenaf stems into biomass waste. The utilization of kenaf stem waste could be used as an ingredient for making activated charcoal. The purpose of this study was to analyze the effect of activation temperature on the properties of activated charcoal and its pollutant adsorption capacity based on Indonesian Standart (SNI 06-3037-1995) on technical activated charcoal. Activated charcoal was made of hydro charcoal soaked into H₃PO₄ and K₂CO₃ for 24 hours, then physically activated at temperatures 600, 700, and 800°C. The results showed that all activated charcoal met the technical activated charcoal quality requirements set by the SNI 06-3730-1995 standard for parameters moisture content and volatile matter content, but only some activated charcoal could meet the requirements for ash content, bound carbon and iodine adsorption capacity. Activated charcoal formaldehyde, ammonia, chloroform, and benzene adsorption capacity increases with increasing activation temperature. The best activated charcoal by yield and the adsorption iodine using K₂CO₃ activator was at 700°C, and H₃PO₄ activator was at 600°C, while the best adsorption activated charcoal formaldehyde, ammonia, chloroform, and benzene at temperature 800°C.

Keywords: Kenaf, hydro charcoal, physical activation, activated charcoal, pollutant adsorption

ABSTRAK

Kenaf adalah salah satu tanaman yang diambil seratnya, sehingga batang kenaf berpotensi menjadi limbah biomassa. Pemanfaatan limbah batang kenaf dapat digunakan sebagai bahan baku berbagai produk, salah satunya adalah untuk bahan baku pembuatan arang aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan bahan kimia aktivasi terhadap sifat-sifat arang aktif dan daya jerap polutan. Bahan baku berupa arang hidro direndam dengan bahan kimia H₃PO₄ dan K₂CO₃ selama 24 jam, kemudian diaktivasi fisik pada suhu 600°C, 700°C, dan 800°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua arang aktif memenuhi syarat mutu arang aktif teknis yang ditetapkan standar SNI 06-3730-1995 untuk parameter kadar air dan kadar zat terbang, namun hanya sebagian arang aktif yang dapat memenuhi syarat untuk kadar abu, karbon terikat dan daya jerap yodium. Daya jerap arang aktif terhadap formaldehida, amonia, kloroform dan benzena cenderung meningkat seiring meningkatnya suhu aktivasi. Arang aktif terbaik berdasarkan rendemen dan daya jerap iodin adalah aktivator K₂CO₃ pada suhu 700°C dan aktivator H₃PO₄ pada suhu 600°C, sedangkan kemampuan daya jerap terbaik terhadap formaldehida, amonia, kloroform, dan benzena adalah pada suhu 800°C.

Kata kunci: Kenaf, karbon aktif, malapari, pirolisis, aktivasi kimia, aktivasi fisik

I. PENDAHULUAN

Tanaman kenaf adalah tanaman penghasil serat yang dikembangkan di Indonesia. Pemanfaatan tanaman kenaf berupa serat setelah pemisahan dari batangnya, sehingga batang kenaf berpotensi sebagai limbah biomassa. Limbah batang kenaf yang dihasilkan dari hasil pemisahan serat sekitar 65% (Liu, 2004). Hingga saat ini limbah batang kenaf belum

banyak dimanfaatkan secara optimal, melainkan hanya dibuang begitu saja hingga dibakar secara langsung. Pembakaran yang terjadi secara terus menerus, tentunya akan berdampak pada lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar. Salah satu alternatif pemanfaatan limbah batang kenaf adalah sebagai bahan pembuatan arang aktif. Hal ini dikarenakan batang kenaf memiliki kandungan lignin yang cukup



Sumber (*Source*): Dede Hermawan, (2020)

Gambar 1. Tanaman kenaf
Figure 1. Kenaf plant

tinggi yaitu sebesar 20,3% (Ying et al., 2014). Kandungan lignin yang tinggi sebagai indikator bahan pembuatan arang aktif (Gonzalez-garcia, 2018).

Arang aktif adalah salah satu konversi potensial dengan berbagai aplikasi untuk menghilangkan pewarna, bau, dan kontaminan serta proses dekontaminasi lainnya (Yakout & El-deen, 2012). Arang aktif banyak digunakan pada industri terutama sebagai adsorben, pemisahan cairan dan gas serta sebagai pendukung katalis. Beberapa penelitian terdahulu terkait penggunaan arang aktif diantaranya sebagai elektroda super-kapasitor (Tumimomor & Palilingan, 2018), reduktor emisi formaldehida kayu lapis (Pari et al., 2006), detoksifikasi pada proses fermentasi hidrolisat kertas bekas (Fuadi et al., 2019), dan sebagai penyerap ion cromium (Salmariza et al., 2014). Berbagai macam pembuatan arang sudah banyak dilakukan untuk menghasilkan arang aktif, salah satunya adalah menggunakan karbonisasi hidrotermal. Karbonisasi hidrotermal adalah proses mengubah biomassa berlignoselulosa menjadi arang hidro menggunakan air sebagai media yang ramah lingkungan (Xiao et al., 2012). Karbonisasi hidrotermal mampu menghasilkan luas permukaan cukup baik dan berstruktur mesopori (Sevilla & Titirici, 2012).

Pembuatan arang aktif menggunakan arang hidro hasil proses karbonisasi hidrotermal dapat diaktivasi dengan mencampurkan arang hidro menggunakan bahan kimia tertentu dan aktivasi fisik menggunakan tanur aktivasi yang dialiri dengan uap air. Beberapa bahan kimia yang sering digunakan diantaranya H_3PO_4 , K_2CO_3 , KOH , dan $ZnCl_2$. Dalam pembuatan arang aktif, hal yang harus diperhatikan selain bahan baku yang digunakan adalah jenis aktivator bahan kimia dan tahap aktivasi fisik. Budiman et al. (2019)



Sumber (*Source*): Dede Hermawan, (2020)

Gambar 2. Limbah batang kenaf
Figure 2. Kenaf stem waste

menyatakan bahwa suhu dan waktu aktivasi berpengaruh terhadap kualitas arang aktif yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan bahan kimia aktivasi terhadap sifat-sifat arang aktif dan daya jerap polutan di antaranya formaldehida, amonia, kloroform dan benzena.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah batang kenaf, kalium karbonat 5%, asam fosfat 5%, aquades, larutan yodium, formaldehida, amonia, kloroform, benzena, dan tepung kanji. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah desikator, digester hidrotermal, tanur aktivasi, oven, cawan, ayakan 120 mesh, dan gelas ukur.

B. Metode Penelitian

1. Pembuatan arang dengan karbonisasi hidrotermal

Limbah batang kenaf yang sudah dibersihkan dan dipotong 1–2 cm dimasukkan ke dalam alat *rotary digester* atau alat karbonisasi hidrotermal. Karbonisasi hidrotermal batang kenaf dilakukan berdasarkan kondisi terbaik dari penelitian sebelumnya yaitu suhu 170°C selama 3 jam (Ainunnisa, 2021). Volume dari alat *rotary digester* adalah 15 liter, dengan jumlah batang kenaf yang dimasukkan 750 g, kemudian ditambahkan air 1/3 volume *digester* yaitu 6 liter. Setelah karbonisasi selama 3 jam, kemudian didiamkan 24 jam untuk pendinginan. Output berupa arang hidro, lalu ditiriskan dan di oven selama 24 jam dengan suhu 80°C yang bertujuan untuk pengeringan (Budiman, 2019).

2. Pembuatan arang aktif

Pembuatan arang aktif menggunakan aktivasi kimia-fisika. Arang hidro batang kenaf direndam

dalam larutan bahan kimia asam fosfat dan kalium karbonat dengan konsentrasi 5% selama 24 jam, kemudian disaring dan ditiriskan di tempat terbuka hingga air permukaan pada arang menghilang, lalu dioven selama 24 jam dengan suhu 80°C. Selanjutnya aktivasi fisika yang dialiri uap air pada suhu 600°C, 700°C dan 800°C selama 30 menit, sedangkan arang aktif kontrol tidak dilakukan aktivasi fisika, artinya hanya diaktivasi menggunakan aktivator bahan kimia dengan perendaman.

3. Pengujian mutu arang aktif

Mutu arang aktif yang dihasilkan diuji berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995) tentang arang aktif teknis meliputi rendemen, kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, dan daya jerap iodin. Metode pengujian daya jerap polutan di antaranya amonia, formaldehida, kloroform, dan benzena mengacu pada Standar ASTM (1979). Arang aktif yang dihasilkan dibandingkan dengan arang aktif komersial. Penentuan arang aktif terbaik berdasarkan perkalian rendemen dengan daya jerap yodium (Hartoyo et al., 1990; Budiman, 2019).

C. Analisis Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial yaitu suhu aktivasi yang terdiri dari 3 taraf yaitu suhu 600°C, 700°C, dan 800°C dengan 3 kali ulangan. Model umum persamaan RAL non faktorial (Mattjik & Sumertajaya, 2002) sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan (*Remarks*): Y_{ij} = Nilai pengamatan pada perlakuan ke- i & ulangan ke- j (*Observations on the treatment i & repetition j*); μ =Nilai tengah umum (*Common mean*); τ_i = Pengaruh perlakuan ke- i (*Effect of treatment i*); ϵ_{ij} = Galat percobaan pada perlakuan ke- i & ulangan ke- j (*Experimental error in treatment i & repetition j*).

Data hasil penelitian ini kemudian dianalisis menggunakan analisis varians atau analisis sidik ragam (ANOVA). Apabila nilai signifikan lebih kecil dari 5%, maka dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen

Rendemen merupakan perbandingan antara hasil arang aktif terhadap berat awal bahan baku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen arang aktif dari arang hidro batang kenaf terlihat semakin kecil seiring meningkatnya suhu aktivasi, baik menggunakan bahan kimia K_2CO_3 ataupun H_3PO_4 (Tabel 1). Secara umum rendemen tergantung jenis bahan baku, bahan aktivator dan suhu serta waktu

aktivasi yang digunakan. Rendemen arang aktif menggunakan bahan kimia H_3PO_4 lebih tinggi dibandingkan dengan bahan kimia K_2CO_3 . Hal ini dikarenakan kemampuan atom H mampu melindungi bahan dari panas, sedangkan pada unsur atom K berpotensi menyumbang abu dan tidak tahan terhadap panas. Bahan baku yang memiliki unsur mineral cukup tinggi seperti kalsium, kalium, natrium, magnesium, dan silika mempengaruhi abu yang terbentuk (Siruru et al., 2018). Tingginya abu yang terbentuk akan mempengaruhi rendemen yang dihasilkan.

Jika dibandingkan dengan arang aktif dari tempurung kelapa sawit menggunakan aktivasi kimia-fisika (Budiman et al., 2019) berkisar antara 12,85–26,29%, secara keseluruhan rendemen hasil penelitian ini lebih tinggi yaitu berkisar 19–40% pada bahan kimia K_2CO_3 dan 30,59–40% pada bahan kimia H_3PO_4 . Meningkatnya suhu aktivasi akan mempengaruhi reaksi dalam retort yang berlangsung, sehingga berdampak pada meningkatnya degradasi arang (Lempang et al., 2012). Lee et al. (2003) menyatakan bahwa rendemen yang dihasilkan dipengaruhi oleh reaksi karbon dan uap air. Pencucian hidrokarbon pada permukaan arang disebabkan adanya penambahan uap air selama proses aktivasi berlangsung. Rendemen semakin berkurang diakibatkan pengaruh uap air dan senyawa karbon yang mengalami proses pemurnian (Lestari et al., 2019).

B. Kadar Air

Kadar air menunjukkan banyaknya air yang terkandung dalam arang aktif. Hal ini berkaitan dengan sifat higroskopis dari arang aktif. Kadar air arang aktif menggunakan aktivator K_2CO_3 dan H_3PO_4 secara keseluruhan berkisar antara 3,54–14,33% (Tabel 1). Kadar air arang aktif dari kedua jenis bahan aktivator yang digunakan dalam penelitian ini lebih kecil dibandingkan tiga jenis arang aktif komersial yang dipasarkan, demikian juga dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Nilai kadar air hasil penelitian ini tidak berbeda jauh apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Budiman et al. (2019) menggunakan tempurung kelapa sawit berkisar 1,93–5,26%. Secara keseluruhan nilai kadar air kedua aktivator dalam penelitian ini sudah memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan maksimal 15%, kecuali pada dua jenis arang aktif komersial yaitu jenis kayu serbuk dan granular. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air arang

Tabel 1. Sifat arang aktif
Table 1. Properties of activated charcoal

| Bahan Kimia (<i>Chemical material</i>) | Suhu (<i>Temperature, °C</i>) | Waktu (<i>Time, menit</i>) | Rendemen (<i>Yield, %</i>) | Kadar Air (<i>Moisture, %</i>) | Kadar Abu (<i>Ash, %</i>) | Kadar Zat Terbang (<i>Volatile Matter, %</i>) | Karbon Terikat (<i>Fixed carbon, %</i>) |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|--|
| Kontrol | - | - | - | 13,85 | 55,77 | 25,04 | 19,20 |
| K ₂ CO ₃ | 600 | 30 | 40,00 | 6,50 | 36,17 | 23,83 | 40,00 |
| | 700 | 30 | 23,50 | 5,91 | 41,13 | 24,86 | 34,02 |
| | 800 | 30 | 19,00 | 5,58 | 43,78 | 24,10 | 32,13 |
| Kontrol | - | - | - | 14,33 | 8,87 | 64,06 | 27,06 |
| H ₃ PO ₄ | 600 | 30 | 40,00 | 3,96 | 9,99 | 12,38 | 77,63 |
| | 700 | 30 | 34,71 | 3,54 | 13,32 | 11,59 | 75,09 |
| | 800 | 30 | 30,59 | 3,63 | 15,62 | 8,82 | 75,55 |
| SNI 06-3730-1995*) | | | | < 15 | < 10 | < 25 | > 65 |
| Arang aktif komersial (<i>Commercial activated charcoal</i>) | Tempurung Kelapa (<i>Coconut shell</i>) | | | 11,70 | 10,77 | 16,58 | 72,66 |
| | Kayu Serbuk (<i>Powder wood</i>) | | | 17,93 | 11,33 | 25,35 | 63,33 |
| | Kayu Granular (<i>Granular wood</i>) | | | 18,96 | 8,47 | 29,30 | 62,23 |

Keterangan (*Remarks*): *) Persyaratan mutu arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 (*Quality requirement for activated charcoal based on SNI*).

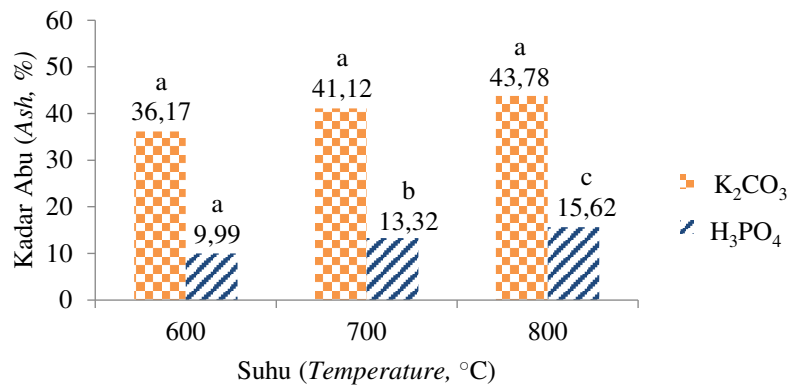
aktif yang diperoleh dari kedua jenis bahan aktivator yang digunakan (Lampiran 1). Kadar air tertinggi menggunakan aktivator K₂CO₃ terdapat pada suhu 600°C dan terendah pada suhu 800°C, demikian juga menggunakan aktivator H₃PO₄, namun kadar air terendah terdapat pada suhu 700°C. Kadar air yang diperoleh menggunakan dua bahan aktivator dalam penelitian ini cenderung menurun seiring meningkatnya suhu aktivasi. Butir air akan menguap pada suhu tinggi yang menyebabkan kadar air arang aktif semakin rendah (Pari et al., 2006). Polii (2017) menyatakan bahwa semakin tinggi suhu akan berdampak pada butir-butir air yang terlepas, sehingga kadar air menjadi rendah.

C. Kadar Abu

Kadar abu merupakan bahan sisa setelah pemanasan atau pembakaran. Kadar abu menggunakan kedua bahan aktivator K₂CO₃ dan H₃PO₄ secara keseluruhan berkisar antara 8,87–55,77% (Tabel 1). Kadar abu kedua bahan aktivator yang digunakan dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan ketiga jenis arang aktif komersial yang dipasarkan, kecuali pada perlakuan kontrol dan

suhu 600°C menggunakan aktivator H₃PO₄. Secara keseluruhan kadar abu arang aktif dari arang hidro batang kenaf belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan maksimal 10%, demikian juga pada arang aktif komersial yang dipasarkan kecuali pada arang aktif komersial kayu granular. Apabila dibandingkan hasil penelitian Budiman et al. (2019) kadar abu berkisar 4,03–12,84%, maka kadar abu hasil penelitian ini lebih tinggi, demikian juga hasil penelitian Polii (2017) berkisar antara 3,87–5,64% menggunakan kayu kelapa. Bahan baku yang memiliki unsur mineral cukup tinggi seperti kalsium, kalium, natrium, magnesium dan silika mempengaruhi abu yang terbentuk (Siruruetal, 2018). Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar abu arang aktif menggunakan aktivator K₂CO₃, sedangkan aktivator H₃PO₄, suhu berpengaruh nyata terhadap kadar abu arang aktif (Lampiran 1). Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa suhu aktivasi berbeda nyata antar setiap perlakuan.

Berdasarkan uji lanjut nilai kadar abu tertinggi bahan aktivator K₂CO₃ dan H₃PO₄ diperoleh pada



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

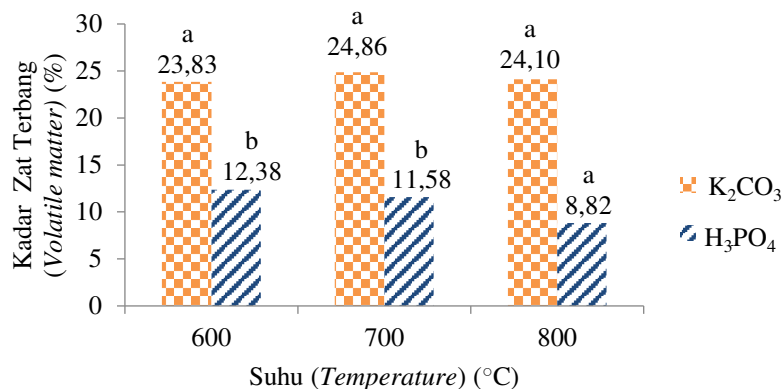
Gambar 1. Uji lanjut kadar abu
Figure 1. Further test of ash content

suhu 800°C dan terendah pada suhu 600°C. Kadar abu yang diperoleh dalam penelitian ini semakin meningkat seiring meningkatnya suhu aktivasi. Suhu tinggi menyebabkan penguraian senyawa-senyawa yang berbentuk mineral mengendap pada arang aktif, di sisi lain kandungan K pada bahan aktivator K₂CO₃ berpotensi menyumbang abu. Tinggi rendahnya kadar abu yang diperoleh akan mempengaruhi daya jerap arang aktif. Lembang et al. (2012) menyatakan bahwa reaksi oksidasi selama proses aktivasi berlangsung menyebabkan tingginya kadar abu pada arang aktif.

D. Kadar Zat Terbang

Kadar zat terbang merupakan besarnya kandungan yang menguap pada proses pemanasan. Kadar zat terbang menggunakan bahan aktivator K₂CO₃ lebih tinggi dibandingkan menggunakan aktivator H₃PO₄. Kadar zat terbang kedua bahan aktivator dalam penelitian ini berkisar antara 8,82–64,06% (Tabel 1). Apabila dibandingkan

dengan kadar zat terbang arang aktif komersial, secara keseluruhan kadar zat terbang kedua bahan aktivator yang digunakan dalam penelitian ini lebih rendah. Demikian juga telah memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yaitu kadar zat terbang lebih kecil dari 25%. Pada arang aktif komersial, hanya arang aktif jenis tempurung kelapa yang memenuhi standar. Kadar zat terbang hasil penelitian ini jauh lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya berkisar 5,41–10,34% berbahan kayu kelapa (Poli, 2017), namun hasil penelitian ini tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian Budiman et al. (2019) yang menggunakan tempurung kelapa sawit yaitu 17,44–23,41%. Analisis ragam ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar zat terbang arang aktif menggunakan aktivator K₂CO₃, sedangkan aktivator H₃PO₄, suhu berpengaruh nyata terhadap kadar zat terbang arang aktif (Lampiran 1). Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa suhu 600°C dan 700°C



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

Gambar 2. Uji lanjut kadar zat terbang
Figure 2. Further test of volatile matter content

tidak berbeda nyata, namun keduanya berbeda nyata pada suhu 800°C.

Berdasarkan uji lanjut nilai kadar zat terbang tertinggi menggunakan aktivator K_2CO_3 diperoleh pada suhu 700°C, sedangkan nilai terendah pada suhu 600°C, demikian juga menggunakan aktivator H_3PO_4 , namun nilai kadar zat terbang tertinggi diperoleh pada suhu 600°C. Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai kadar zat terbang kedua aktivator yang digunakan cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu aktivasi. Selama proses aktivasi, terjadi penataan pembentukan unsur karbon yang membentuk struktur heksagonal, melepaskan senyawa mudah menguap dalam bentuk gas CO , CO_2 , dan CH_4 (Darmawan, 2014). Pari et al. (2006) menyatakan bahwa terdapat senyawa non karbon pada permukaan arang aktif, terutama atom H terikat kuat terhadap atom C yang membentuk $C(H_2)$.

E. Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat menggambarkan banyaknya kandungan karbon murni pada arang aktif. Nilai karbon terikat menggunakan kedua aktivator K_2CO_3 dan H_3PO_4 secara keseluruhan berkisar antara 19,20–77,63% (Tabel 1). Apabila dibandingkan dengan tiga jenis arang aktif komersial, maka nilai karbon terikat menggunakan aktivator K_2CO_3 memiliki nilai yang lebih rendah, dengan kata lain arang aktif komersial lebih baik, namun apabila dibandingkan dengan bahan aktivator H_3PO_4 , nilai karbon terikat tiga jenis arang aktif komersial lebih rendah, dengan kata lain arang aktif menggunakan aktivator H_3PO_4 memiliki nilai karbon terikat yang lebih baik. Nilai karbon terikat menggunakan aktivator H_3PO_4 telah memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan di atas 65%. Demikian juga menggunakan aktivator K_2CO_3 , belum memenuhi standar yang dipersyaratkan. Hasil penelitian dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 tidak berbeda jauh dengan penelitian sebelumnya menggunakan tempurung kelapa sawit (Budiman et al. 2019) berkisar 66,59–78,03%, namun nilai karbon terikat menggunakan kedua bahan aktivator jauh lebih rendah apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Polii (2017) menggunakan kayu kelapa yaitu 84,44–88,22%. Hasil ragam ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi menggunakan aktivator K_2CO_3 tidak berpengaruh nyata terhadap kadar karbon terikat, sedangkan aktivator H_3PO_4 suhu berpengaruh nyata (Lampiran 1). Hasil uji lanjut Duncan aktivator H_3PO_4 bahwa suhu 700 dan 800°C tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata pada suhu 600°C.

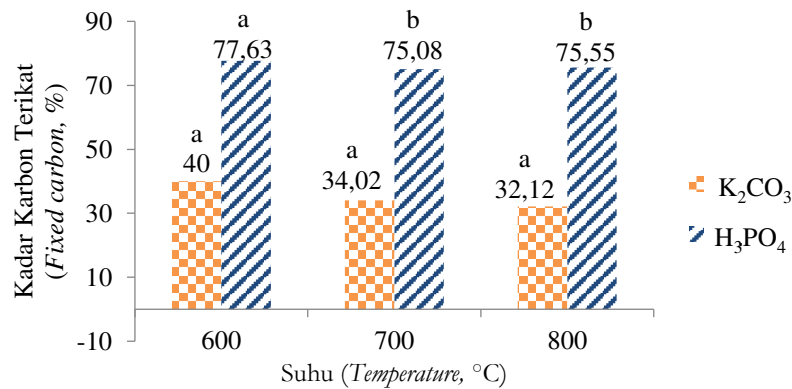
Berdasarkan uji lanjut, nilai kadar karbon terikat tertinggi menggunakan kedua bahan aktivator K_2CO_3

dan H_3PO_4 terdapat pada suhu 600°C, sedangkan nilai terendah diperoleh pada suhu 700°C untuk bahan aktivator H_3PO_4 dan suhu 800°C menggunakan bahan aktivator K_2CO_3 . Karbon terikat arang aktif hasil penelitian ini cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu aktivasi. Di sisi lain tinggi rendahnya nilai karbon terikat arang aktif yang diperoleh dipengaruhi oleh nilai kadar abu dan kadar zat terbang arang aktif. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar abu dan kadar zat terbang, maka nilai karbon terikat yang dihasilkan juga semakin rendah. Besar kecilnya nilai karbon terikat arang aktif dipengaruhi oleh kadar abu dan zat terbang akibat adanya pemurnian atom karbon dan non-karbon (Pari et al., 2006).

F. Daya Jerap Yodium

Daya jerap yodium menunjukkan tingkat daya jerap arang aktif terhadap larutan atau gas hingga zat berbahaya. Daya jerap yodium arang aktif menggunakan bahan aktivator K_2CO_3 dan H_3PO_4 , berkisar antara 144,34–830,21 mg/g (Tabel 1). Hasil daya jerap yodium menggunakan aktivator H_3PO_4 lebih tinggi dibandingkan aktivator K_2CO_3 . Daya jerap yodium arang aktif hasil penelitian ini, lebih rendah dibandingkan dengan arang aktif komersial yang dipasarkan, kecuali pada arang aktif komersial jenis kayu granular yang memiliki nilai daya jerap iodin lebih rendah. Dengan kata lain daya jerap yodium arang aktif komersial jenis tempurung kelapa dan kayu serbuk lebih baik dibandingkan daya jerap yodium hasil penelitian ini. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Budiman et al. (2019), berkisar antara 631,56–863,20 mg/g, secara keseluruhan daya jerap yodium hasil penelitian ini lebih rendah.

Daya jerap yodium hasil penelitian ini belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan lebih besar dari 750 mg/g, kecuali bahan aktivator K_2CO_3 suhu 800°C. Berdasarkan Tabel 1 daya jerap yodium tertinggi, kedua bahan aktivator yang digunakan diperoleh pada suhu 800°C dan nilai terendah diperoleh pada suhu 600°C. Daya jerap yodium cenderung mengalami peningkatan seiring meningkatnya suhu aktivasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Lempang et al. (2012) bahwa daya jerap arang aktif terhadap yodium semakin meningkat dengan meningkatnya suhu aktivasi. Daya jerap merupakan indikator terpenting menentukan mutu arang aktif. Semakin tinggi daya jerap, maka mutu arang aktif semakin baik. Disisi lain daya jerap arang aktif erat kaitannya dengan pori-pori yang terbentuk serta luas permukaan arang aktif. Yuningsih et al. (2016) menyatakan bahwa semakin banyak pori yang terbentuk, maka daya jerap semakin



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

Gambar 3. Uji lanjut kadar karbon terikat
Figure 3. Further test of fixed carbon

Tabel 1. Daya jerap arang aktif
Table 1. Adsorption of activated charcoal

| Bahan Kimia (Chemical material) | Suhu (Temperature, °C) | Waktu (Time, menit) | Yodium (Iodine, mg/g) | Formaldehida (Formaldehyde, %) | Amonia (Ammonia, %) | Kloroform (Chloroform, %) | Benzena (Benzene, %) |
|---|----------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| Kontrol | - | - | 144,34 | 0,63 | 0,52 | 0,06 | 0,14 |
| K ₂ CO ₃ | 600 | 30 | 378,21 | 22,81 | 22,18 | 15,24 | 0,61 |
| | 700 | 30 | 690,10 | 24,08 | 26,08 | 16,31 | 2,03 |
| | 800 | 30 | 830,21 | 28,26 | 29,78 | 18,83 | 2,90 |
| H ₃ PO ₄ | 600 | 30 | 559,68 | 15,37 | 11,21 | 22,87 | 11,34 |
| | 700 | 30 | 601,47 | 15,01 | 12,35 | 20,50 | 10,59 |
| | 800 | 30 | 717,78 | 18,92 | 14,08 | 26,72 | 13,95 |
| SNI 06-3730-1995*) | | | >750 | - | - | - | >25 |
| Arang Aktif Komersial (Commercial activated charcoal) | Tempurung Kelapa (Coconut shell) | | 997,44 | 12,09 | 14,66 | 28,89 | 12,77 |
| | Kayu Serbuk (Powder wood) | | 824,78 | 0,82 | 2,72 | 12,03 | 0,69 |
| | Kayu Granular (Granular wood) | | 558,10 | 0,35 | 1,08 | 9,79 | 0,26 |

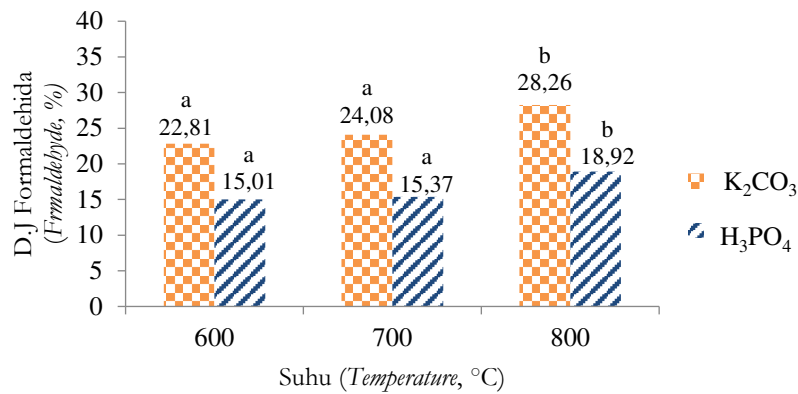
Sumber (Source): Data primer, 2021 (Primery data)

besar. Demikian juga dengan luas permukaan arang aktif yang semakin besar (Siruru et al., 2018).

G. Daya Jerap Formaldehida

Daya jerap arang aktif terhadap formaldehida menggunakan bahan aktivator K₂CO₃ dan H₃PO₄

berkisar antara 0,63–28,26% (Tabel 1). Daya jerap arang aktif menggunakan aktivator K₂CO₃ lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator H₃PO₄. Apabila dibandingkan dengan arang aktif komersial, secara keseluruhan nilai daya jerap arang aktif dari kedua bahan aktivator yang digunakan lebih tinggi.



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

Gambar 4. Uji lanjut daya jerap formaldehida
Figure 4. Further test of absorptive capacity formaldehyde

Demikian juga dengan hasil penelitian Budiman et al. (2019) menggunakan tempurung kelapa sawit berkisar antara 10,01–22,03%. Dengan kata lain mutu arang aktif kedua bahan aktivator yang digunakan lebih baik daripada arang aktif komersial. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi berpengaruh nyata terhadap daya jerap formaldehida arang aktif yang diperoleh dari kedua jenis bahan aktivator (Lampiran 1). Berdasarkan uji lanjut Duncan suhu 600°C dan 700°C tidak berbeda nyata, namun keduanya berbeda nyata pada suhu 800°C.

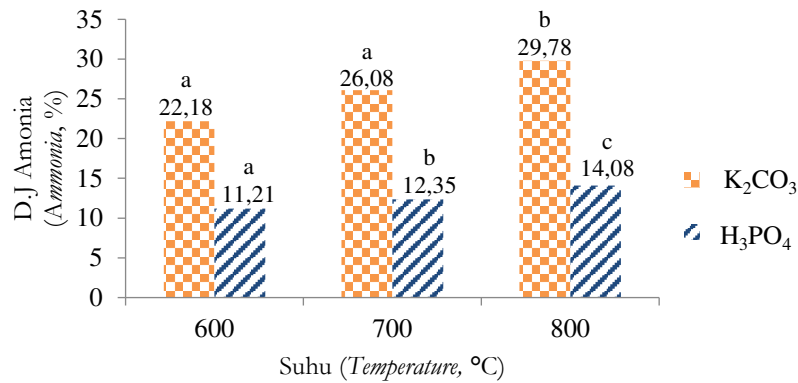
Hasil uji lanjut daya jerap formaldehida menunjukkan bahwa nilai daya jerap arang aktif terhadap formaldehida tertinggi diperoleh pada suhu 800°C dan terendah pada suhu 600°C dari kedua bahan aktivator. Nilai daya jerap formaldehida yang diperoleh dalam penelitian ini cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya suhu aktivasi. Umumnya daya jerap semakin tinggi dengan perlakuan suhu aktivasi. Suhu aktivasi akan mempengaruhi besar kecilnya pori-pori arang aktif yang terbentuk, sehingga dapat meningkatkan daya jerapnya (Hendra & Darmawan, 2007). Daya jerap formaldehida dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan kimia dari permukaan daya penjerapnya (Boonamnuayyitayan et al., 2005).

H. Daya Jerap Amonia

Daya jerap arang aktif terhadap amonia menggunakan bahan aktivator K₂CO₃ dan H₃PO₄ berkisar antara 0, 52–29,78% (Tabel 1). Daya jerap

arang aktif bahan aktivator K₂CO₃ lebih tinggi dibandingkan bahan aktivator H₃PO₄. Apabila dibandingkan dengan daya jerap arang aktif tiga jenis komersial yang dipasarkan, nilai daya jerap arang aktif terhadap amonia kedua bahan aktivator dalam penelitian ini lebih tinggi. Dengan kata lain mutu arang aktif dari kedua bahan aktivator yang digunakan lebih baik. Hasil penelitian Budiman et al. (2019) tidak berbeda jauh dengan daya jerap amonia menggunakan aktivator H₃PO₄ yaitu berkisar antara 11,21–14,08%. Analisis ANOVA menunjukkan suhu aktivasi berpengaruh nyata terhadap daya jerap amonia (Lampiran 1). Berdasarkan uji lanjut Duncan bahan aktivator K₂CO₃, suhu 600°C dan 700°C tidak berbeda nyata, namun keduanya berbeda nyata pada suhu 800°C, sedangkan bahan aktivator H₃PO₄, suhu aktivasi berbeda nyata antar perlakuan.

Hasil uji lanjut menunjukkan nilai daya jerap arang aktif terhadap amonia tertinggi diperoleh pada suhu 800°C, sedangkan nilai terendah pada suhu 600°C. Nilai daya jerap arang aktif terhadap amonia semakin meningkat seiring meningkatnya suhu aktivasi. Suhu aktivasi menyebabkan pori-pori arang terbuka, sehingga dapat dengan baik menyerap amonia (Pradana et al., 2019). Di sisi lain penyerapan meningkat erat kaitannya dengan luas permukaan dari pori-pori arang aktif yang terbentuk. Semakin tinggi daya jerap terhadap amonia menandakan semakin luasnya permukaan arang (Fauzi, 2020).



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

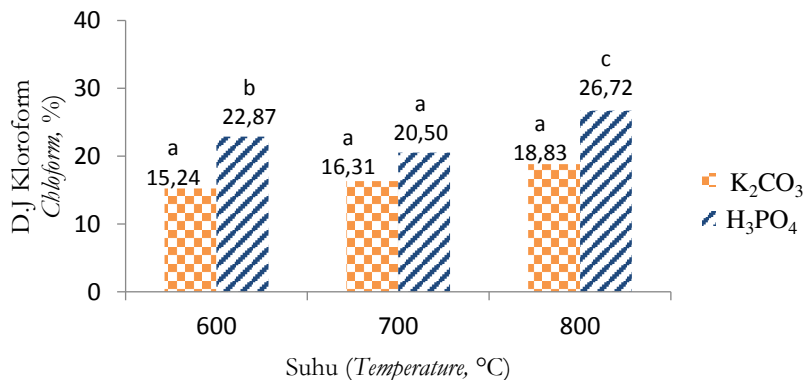
Gambar 5. Uji lanjut daya jerap amonia
Figure 5. Further test of absorptive capacity ammonia

I. Daya Jerap Kloroform

Daya jerap kloroform arang aktif dari kedua bahan aktivator yang digunakan berkisar antara 0,06–26,72% (Tabel 1). Daya jerap arang aktif terhadap kloroform kedua bahan aktivator lebih rendah dibandingkan arang aktif komersial jenis tempurung kelapa, sedangkan jenis kayu serbuk dan granular lebih rendah. Dengan demikian mutu arang aktif kedua bahan aktivator lebih baik dibandingkan arang aktif komersial jenis kayu serbuk dan granular, namun arang aktif komersial jenis tempurung kelapa memiliki mutu arang aktif yang lebih baik dari bahan aktivator dalam penelitian. Daya jerap terhadap kloroform bahan aktivator H₃PO₄ lebih tinggi dibandingkan aktivator K₂CO₃. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Budiman et al. (2019) berkisar antara 23,91–36,04%, secara

keseluruhan nilai daya jerap terhadap kloroform hasil penelitian ini lebih rendah. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi hanya berpengaruh nyata terhadap daya jerap kloroform menggunakan aktivator H₃PO₄ (Lampiran 1). Uji lanjut Duncan menunjukkan suhu aktivasi berbeda nyata antar perlakuan.

Hasil uji lanjut menunjukkan, nilai daya jerap arang aktif tertinggi terhadap kloroform terdapat pada suhu 800°C, sedangkan nilai terendah terdapat pada suhu 600°C, kecuali aktivator H₃PO₄ nilai terendah terdapat pada suhu 700°C. Tinggi rendahnya daya jerap arang aktif terhadap kloroform mengindikasikan permukaan arang aktif bersifat polar. Artinya arang aktif dapat menyerap polutan atau senyawa yang bersifat polar. Semakin tinggi nilai daya jerapnya menunjukkan permukaan arang aktif masih banyak



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

Gambar 6. Uji lanjut daya jerap kloroform
Figure 6. Further test of absorptive capacity chloroform

mengandung senyawa polar (Haji et al., 2016). Pari et al. (2006), rendahnya daya jerap arang aktif terhadap kloroform diakibatkan adanya gugus P_2O_5 yang merupakan hasil dekomposisi H_3PO_4 yang terikat oleh arang aktif.

J. Daya Jerap Benzena

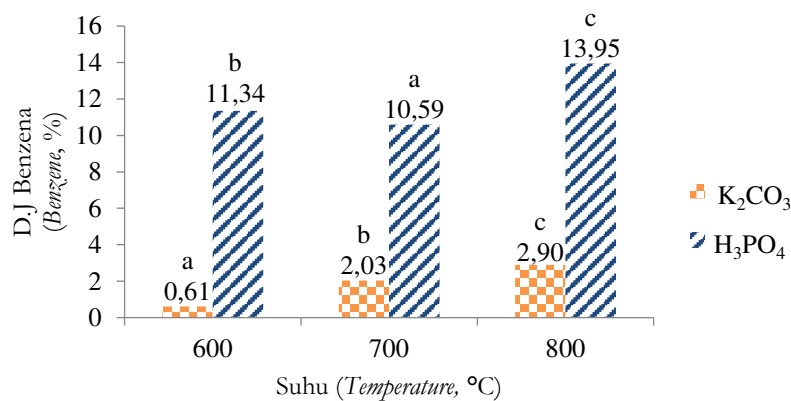
Daya jerap arang aktif terhadap benzena berkisar antara 0,14–13,95% (Tabel 1). Daya jerap terhadap benzena menggunakan aktivator H_3PO_4 lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator K_2CO_3 . Dibandingkan dengan arang aktif komersial, rata-rata nilai daya jerap arang aktif terhadap benzena menggunakan aktivator K_2CO_3 dan H_3PO_4 cenderung tidak berbeda jauh. Artinya dapat dikatakan bahwa arang aktif hasil penelitian ini dengan arang aktif komersial sama-sama memiliki mutu yang baik terhadap penyerapan benzena. Demikian juga apabila dibandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya oleh Budiman et al. (2019) menggunakan tempurung kelapa sawit, nilai daya jerap terhadap benzena hasil penelitian ini lebih rendah. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa suhu aktivasi berpengaruh nyata terhadap daya jerap benzena (Lampiran 1). Berdasarkan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa suhu aktivasi berbeda nyata antar perlakuan baik menggunakan aktivator K_2CO_3 dan H_3PO_4 .

Hasil uji lanjut menunjukkan, nilai daya jerap arang aktif tertinggi terhadap benzena terdapat pada suhu $800^\circ C$, sedangkan nilai terendah terdapat pada

suhu $600^\circ C$, kecuali aktivator H_3PO_4 nilai terendah terdapat pada suhu $700^\circ C$. Secara keseluruhan daya jerap arang aktif terhadap benzena belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan lebih besar dari 25%. Artinya bahwa nilai daya jerap arang aktif terhadap benzena menggambarkan arang aktif yang dihasilkan masih bersifat non polar. Pari et al. (2006) menjelaskan bahwa terdapat senyawa non karbon yaitu atom H dan O yang masih terikat di permukaan arang aktif, sehingga arang aktif bersifat non polar yang menyebabkan rendahnya daya jerap. Selain itu tingginya penyerapan kloroform dibanding penyerapan benzena menunjukkan permukaan arang aktif masih banyak mengandung senyawa polar seperti fenolik dan asam karboksilat (Haji et al., 2016).

K. Arang Aktif Terbaik

Penentuan arang aktif terbaik diperoleh dari hasil perkalian rendemen dengan daya jerap yodium (Hartoyo et al., 1990; Budiman., 2019). Arang aktif terbaik menggunakan aktivator K_2CO_3 terdapat pada suhu $700^\circ C$ dengan nilai rendemen 23,5% dan daya jerap yodium 690,1 mg/g, sedangkan aktivator H_3PO_4 terdapat pada suhu $600^\circ C$ menghasilkan rendemen 40% dan daya jerap yodium sebesar 559,68 mg/g. Arang aktif terbaik yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki daya jerap yang baik dengan arang aktif komersial yang diperdagangkan yaitu jenis granular. Hasil arang aktif terbaik disajikan pada Tabel 2.



Keterangan (Remarks): Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata taraf $\alpha=5\%$ (The same letter shows no significant difference at the level of $\alpha=5\%$)

Gambar 7. Uji lanjut daya jerap benzena
Figure 7. Further test of absorptive capacity benzene

Tabel 2. Arang aktif terbaik
Table 2. Best activated charcoal

| Bahan Kimia (Chemical material) | Suhu (Temperature, °C) | Rendemen (Yield, %) | Yodium (Iodine, mg/g) | Arang Aktif Terbaik (Best activated charcoal, mg/g) |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|--|
| K ₂ CO ₃ | 600 | 40,00 | 378,21 | 15.128,40 |
| | 700 | 23,50 | 690,10 | 16.217,35 |
| | 800 | 19,00 | 830,21 | 15.773,99 |
| H ₃ PO ₄ | 600 | 40,00 | 559,68 | 22.387,20 |
| | 700 | 34,71 | 601,47 | 20.874,55 |
| | 800 | 30,59 | 717,78 | 21.955,62 |

IV. KESIMPULAN

Semua arang aktif memenuhi syarat mutu arang aktif teknis yang ditetapkan standar SNI 06-3730-1995 untuk parameter kadar air dan kadar zat terbang, namun hanya sebagian arang aktif yang dapat memenuhi syarat untuk kadar abu, karbon terikat dan daya jerap iodin. Daya jerap arang aktif terhadap formaldehida, amonia, kloroform, dan benzena cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu aktivasi. Arang aktif terbaik menggunakan aktivator K₂CO₃ terdapat pada suhu 700°C dengan nilai rendemen 23,5% dan daya jerap yodium 690,1 mg/g, sedangkan aktivator H₃PO₄ terdapat pada suhu 600°C menghasilkan rendemen 40% dan daya jerap yodium sebesar 559,68 mg/g.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada IPB University, Pusat Standarisasi dan Instrumentasi Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, Badan Standardisasi dan Instrumentasi (BSI) KLHK, Beasiswa Stimulan Unggulan NTB yang telah mendukung penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh DH, IB dan GP; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh MS; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh MS dan JS; penulisan manuskrip oleh MS; perbaikan dan finalisasi mansukrip dilakukan oleh MS dan JP.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainunnisa R. (2021). *Karakteristik arang hidro batang kenaf (Hibiscus cannabinus L.) terkarbonisasi hidrotermal* (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1979). *Standard test method for benzene, chloroform, and iodine sorption of activated carbon*. ASTM, USA.

- Boonamnuayyitayan, V., Sae-ung, S., & Tanthapanichakoon, W. (2005). Preparation of activated carbon from coffee residue for the adsorption of formaldehyde. *Separation and Purification Technology*, 2, 159–168. doi:10.1016/j.seppur.2004.07.00.
- Budiman, I., Hermawan, D., Febrianto, F., Subyakto., & Pari, G. (2019). Optimasi aktivasi arang aktif dari arang hidro tempurung buah kelapa sawit menggunakan metodologi permukaan respon. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*, 17(1), 8–21.
- Budiman, I. (2019). *Pengembangan mortar berkemampuan memperbaiki diri secara mandiri berbahan tempurung dan serat tandan kosong kelapa sawit* (Disertasi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Darmawan S. (2014). *Karbon nanoporous dari biomassa butan melalui proses karbonisasi bertingkat: pirolisis, hidrotermal dan aktivasi* (Disertasi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Fauzi, A. (2020). Penurunan kadar amonia dengan menggunakan arang aktif ampas kopi. *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 1(2), 22–26.
- Fuadi, A. M., Mujiburohman, M., Fatoni, R., & Dewi, D. R. . (2019). Optimasi pembuatan arang aktif untuk detoksifikasi pada proses fermentasi hidrolisat kertas bekas. *Simposium Nasional RAPI XVIII – 2019 FT UMS*, 426–430.
- Gonzalez-garcia, P. (2018). Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1393–1414. doi: 10.1016/j.rser.2017.04.117.
- Haji, A. G., Khaldun, I., & Nina, A. (2016). Karakterisasi arang hasil karbonisasi kulit buah durian. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh*.
- Hartoyo, Nurmala, H., & Fadli. (1990). Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan kayu

- bakau dengan cara aktivasi uap. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 8(1), 8-18.
- Hendra, D., & Darmawan, S. (2007). Sifat arang aktif dari tempurung kemiri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 25(4), 291–302.
- Lee, Y. S., Basova, Y.V., Edie, D.D., Reid, L.K., Newcombe, S.R., & Ryu, S.K. (2003). Preparation and characterization of trilobal activated carbon fibers. *Carbon*, 38, 2573–2584.
- Lempang, M., Syafii, W., & Gustan, P. (2012). Sifat dan mutu arang aktif tempurung kemiri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(2), 278–294.
- Lestari, E. S., Hadi, Y. S., & Gustan, P. (2019). Pemanfaatan campuran arang aktif kayu *Muntingia calabura* L. dan bakteri *Escherichia coli* pada pengolahan limbah kromium industri elektroplating. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37(2), 105–122.
- Liu, A. (2004). Making pulp and paper from kenaf. Agriculture Officer. International Jute Organization (IJO). <http://www.chinaconsultinginc.com/paperpulp.html>. (17 maret 2022).
- Pari, G., Santoso, A., & Hendra, D. (2006). Pembuatan dan pemanfaatan arang aktif sebagai reduktor emisi formaldehida kayu lapis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(5), 425–436.
- Polii, F.F. (2017). Pengaruh suhu dan lama aktivasi terhadap mutu arang aktif dari kayu kelapa. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 12(2), 21–28.
- Pradana, A. A., Pujion, Yulianto, B., & Ruhmawati, T. (2019). Perbedaan waktu kontak karbon aktif terhadap penurunan kadar amonia pada limbah cair domestik. *Jurnal Riset Kesehatan*, 11(1), 215–220.
- Salmariza, S. Y., Mawardi, Hariyani, R., & Kasman, M. (2014). Pengembangan adsorben dari limbah lumpur industri crumb rubber yang diaktivasi dengan H₃PO₄ untuk menyerap ion Cr(VI). *Jurnal Litbang Industri*, 2, 67–77.
- Sevilla, M., & Titirici, M. M. (2012). Hydrothermal carbonization: A greener route towards the synthesis of advanced carbon materials. *Boletin del Grupo Espanol Carbon*, 25, 7–17.
- Siruru, H., Syafii, Wistara, N. J., & Gustan, P. (2018). Pengaruh durasi steam terhadap kualitas arang aktif limbah sagu. *Jurnal Ilmu Teknologi. Kayu Tropis*, 16(2), 115–130.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1995). *Arang aktif teknis* (SNI 063730-1995). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Tumimomor, F. R., & Palilingan, S. C. (2018). Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor. *Fullerene Journal of Chemistry*, 3(1), 13–18.
- Xiao, L. P., Shi, Z. J., Xu, F., & Sun, R. C. (2012). Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. *Biores Technology*, 118, 619–623. doi: 10.1016/j.biortech.2012.05.060.
- Yakout, S. M., & El-deen, G. S. (2012). Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1155-S1168. doi: 10.1016/j.arabjc.2011.12.002.
- Ying, Y. T., Teong, L. K., Abdullah, W. N. W., & Peng, L. C. (2014). The effect of various pretreatment methods on oil palm empty fruit bunch (efb) and kenaf core fibers for sugar production. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 328 – 335.
- Yuningsih, L. M., Mulyadi, D., & Kurnia, A. J. (2016). Pengaruh aktivasi arang aktif dari tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap luas permukaan dan daya jerap iodin. *Jurnal Kimia Valensi: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 2(1), 30–34.