

KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI KULIT BUAH MALAPARI (*Pongamia pinnata* L. Pierre) (*Characteristics of Activated Carbon from Malapari Fruit Peel (*Pongamia pinnata* L. Pierre)*)

Ibrahim¹, Djeni Hendra², Nur Adi Saputra², & Eti Rohaeti¹

¹ Departemen Kimia, Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor

Gedung Fakultas Peternakan W2 Lt. 4–5, Jl. Agatis Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680. Telp./Faks. (0251) 8624567

²Pusat Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan

Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610. Telp. (0251) 863378, Faks. (0251) 8633413

Email: nadisaputra@gmail.com

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

ABSTRACT

*Vegetable oil production of malapari (*Pongamia pinnata* L. Pierre) fruit remains peels that haven't been utilized. Malapari fruit peel is potential for activated carbon. The purpose of this research is to use malapari fruit peel waste as raw material for producing activated charcoal. Samples were carbonized at temperature of 400°C and continued activation with phosphoric acid 2% and physical activation at temperature of 750°C by flowing steam for 60 minutes. The process resulted in the Optimum condition. It yields 54% charcoal recovery, moisture content of 8.6%, volatile matter of 11.85%, ash content of 24.73%, fixed carbon of 63.42%, benzene adsorptivity of 10.15%, metilene blue adsorptivity of 93.89 mg/g, iodine adsorptivity of 648.62 mg/g, and specific surface area of 348.11 m²/g. Activated carbon in this study is below Indonesian standards, which is influenced by the activation retention time.*

Keywords: Activated carbon, malapari, pirolisis, chemical activation, physical activation

ABSTRAK

Pengolahan minyak nabati buah malapari (*Pongamia pinnata* L. Pierre) menyisakan limbah kulit buah yang belum dimanfaatkan. Salah satu pemanfaatan kulit buah malapari adalah bahan baku karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kulit buah malapari sebagai bahan baku arang aktif yang menggunakan cara kimia dan fisika. Kondisi optimum pembuatan arang aktif dihasilkan dari bahan baku yang dikarbonisasi pada suhu 400°C, diaktivasi dengan asam fosfat 2% dan pemanasan pada suhu 750°C sambil dialiri uap air selama 60 menit. Proses tersebut merupakan kondisi optimum yang menghasilkan rendemen arang aktif sebesar 54%, kadar air 8,6%, zat terbang 11,85%, abu 24,73%, karbon terikat 63,42%, daya jerap benzena 10,15%, daya jerap biru metilena 93,89 mg/g, dan daya jerap iod 648,62 mg/g serta luas permukaan spesifik 348,11 m²/g. Arang aktif studi ini masih di bawah standar Indonesia, yang dipengaruhi oleh waktu retensi aktivasi yang belum optimal.

Kata kunci: Karbon aktif, malapari, pirolisis, aktivasi kimia, aktivasi fisik

I. PENDAHULUAN

Selain sebagai bahan baku industri sabun dan obat herbal, buah malapari (*Pongamia pinnata*) juga merupakan sumber energi alternatif. Pemanfaatan malapari sebagai minyak nabati banyak ditemukan di India (Alimah, 2011). Prospek pengolahan buah malapari menjadi minyak nabati cukup menjanjikan karena tanaman ini mudah untuk dibudidayakan. Satu hektar tanaman malapari dapat menghasilkan sekitar 9 ton biji malapari kering, meskipun tumbuhan tersebut sudah berusia lebih dari 50 tahun tetap menghasilkan biji. Setiap kilogram buah malapari terdapat 1500–1700 biji (Mardjono, 2008). Pada proses pengolahan minyak nabati dari buah malapari

menyisakan limbah kulit yang belum dimanfaatkan. Untuk meningkatkan nilai tambah dan mengurangi pencemaran lingkungan maka perlu dilakukan kajian tentang pemanfaatan kulit buah malapari untuk menghasilkan produk yang bermanfaat.

Kulit buah malapari memiliki tekstur yang cukup keras karena kandungan silikatnya (SiO₂) yang cukup tinggi. Selain itu, kulit buah malapari juga mengandung selulosa dan lignin yang berfungsi sebagai sumber karbon. Limbah yang mengandung unsur karbon dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif. Beberapa bahan baku dari limbah yang dijadikan sumber karbon dalam pembuatan arang aktif antara lain yaitu ampas tebu

(Khas & Delhi, 2004), limbah padat tapioka (Kurniawan, 2011), serabut kelapa dan jerami (Pakpahan, Tambunan, Harimby, & Ritonga, 2013) dan limbah pembalakan kayu pusa (Hendra, 2007).

Proses pembuatan arang aktif dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Proses karbonisasi menggunakan metode pirolisis, yaitu proses dekomposisi termokimia dengan suhu tinggi terhadap bahan organik tanpa menggunakan udara. Proses aktivasi terdiri dari 2 jenis yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Prinsip aktivasi fisika adalah pemberian uap air atau CO_2 terhadap arang yang telah dipanaskan, sedangkan aktivasi kimia adalah perendaman arang di dalam larutan kimia seperti CaCl_2 , H_3PO_4 , NaOH , KOH , dan Na_2SO_4 (Sudradjat, 2011). Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kulit buah malapari sebagai bahan baku pembuatan arang aktif dan mengkarakterisasi sifat-sifat arang aktif yang dihasilkan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit buah malapari yang diambil dari Batu Karas, Pangandaran Provinsi Jawa Barat. Bahan kimia yang digunakan antara lain: H_3PO_4 , I_2 , Na_2SO_4 , biru metilena, pati, dan benzena. Alat-alat yang digunakan antara lain tungku pirolisis, tungku aktivasi, *Mill Herzog*, desikator, oven, tanur, neraca analitik, labu ukur, dan erlenmeyer.

B. Metode Penelitian

1. Pembuatan Arang Kulit Buah Malapari

Kulit buah malapari ditimbang dan dimasukkan ke dalam tungku pirolisis. Pengarangan divariasikan pada suhu 300°C , 400°C dan 450°C selama 4 jam. Arang yang dihasilkan kemudian dihitung rendemennya.

2. Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Malapari

Arang kulit buah malapari diaktivasi secara kimia-fisika. Aktivasi kimia dilakukan dengan dua perlakuan perendaman arang ke dalam larutan H_3PO_4 1% dan 2% selama 24 jam, kemudian dicuci, ditiriskan, dan dikeringkan dengan panas matahari. Proses ini menghasilkan arang teraktivasi secara kimia. Selanjutnya arang yang teraktivasi kimia dilanjutkan dengan proses pemanasan pada suhu 750°C menggunakan tungku aktivasi sambil dialiri uap air (*steam*). Waktu *steam* divariasikan sebanyak 2 perlakuan yaitu selama 60 dan 90 menit. Proses ini menghasilkan arang teraktivasi secara kimia-fisika dengan 12 kombinasi perlakuan. Arang aktif ditentukan rendemennya dan digiling menggunakan *Mill Herzog* untuk menghasilkan ukuran 200 mesh. Setelah itu, arang aktif yang dihasilkan dilakukan pencirian berdasarkan SNI 06-3730-1995 yang meliputi kadar air, zat terbang, abu, karbon terikat, daya jerap terhadap benzena, iod, biru metilena, dan luas permukaan. Kondisi optimum pembuatan arang aktif ditentukan berdasarkan total bilangan iod terbesar (Hartoyo, Hudaya, & Fadli, 1990). Kondisi pembuatan arang aktif tersaji pada Tabel 1.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen Arang Aktif

Rendemen arang aktif mengalami penurunan dengan peningkatan konsentrasi H_3PO_4 . Hal ini disebabkan oleh kemampuan H_3PO_4 dalam melarutkan komponen tar (Kurniati, 2008). Komponen tar yang hilang dapat menurunkan rendemen arang aktif. Rendemen arang aktif juga mengalami penurunan dengan peningkatan waktu pengaliran uap air saat aktivasi aliran uap air dapat menyebabkan peningkatan reaksi oksidasi karbon membentuk senyawa volatile seperti gas CO_2 dan H_2

Tabel 1. Kondisi pembuatan arang aktif

Table 1. Condition of making activated charcoal

Sampel (Samples)	Suhu (Temperature, $^\circ\text{C}$)	Larutan H_3PO_4 (Solvent, %)	Retensi, menit (Retention, minutes)
K3H1S6	300	1	60
K3H1S9	300	1	90
K3H2S6	300	2	60
K3H2S9	300	2	90
K4H1S6	400	1	60
K4H1S9	400	1	90
K4H2S6	400	2	60
K4H2S9	400	2	90
K45H1S6	450	1	60
K45H1S9	450	1	90
K45H2S6	450	2	60
K45H2S9	450	2	90

Tabel 2. Pengaruh aktivasi kimia-fisik dengan waktu pengaliran uap air
Table 2. The impact of phisic-chemical activation with steamflow rate time

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Rendemen (<i>Yield</i>)
K3H1S6	46
K3H1S9	43
K3H2S6	45
K3H2S9	35
K4H1S6	31
K3H1S9	27
K4H2S6	54
K4H2S9	28
K45H1S6	87
K45H1S9	27
K45H2S6	20
K45H2S9	14

Aprianis (2012) dan Lempang, Syafii, dan Pari (2012) juga menyatakan bahwa rendemen arang aktif mengalami penurunan dengan peningkatan waktu pengaliran uap air saat aktivasi fisik. Rendemen arang aktif berkisar 14 sampai 87 % (Tabel 2).

Pada perlakuan K4H2S6 dan K45H1S6 menghasilkan rendemen arang aktif yang lebih tinggi daripada yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh H_3PO_4 mempunyai titik didih yang tinggi sehingga dapat melindungi atom C dari pemanasan dan akan memperkecil peluang jadinya abu, sehingga rendemen arang aktif tinggi, selain itu pori yang dihasilkan lebih

banyak yang terbentuk akibatnya luas permukaan lebih besar.

B. Mutu Arang Aktif

Mutu arang aktif dapat diketahui berdasarkan sifat-sifat yang dihasilkan yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, daya jerap terhadap benzena, iodium serta biru metilena, luas permukaan spesifik dan total bilangan iodium.

1. Kadar air

Berdasarkan Tabel 3, kadar air arang aktif berkisar 1,59–10,31%. Kadar arang aktif terendah terjadi pada perlakuan K45H1S6 yaitu sebesar 1,59% dan tertinggi terdapat pada perlakuan K4H1S6 dengan nilai sebesar 10,31%. Hasil ini lebih tinggi daripada kadar air arang aktif dari kulit akasia (Fauziah, 2009), arang aktif dari batok kelapa hibrida (Tangkuman, 2009), dan arang aktif dari limbah pembalakan kayu pusa (Hendra, 2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua perlakuan menghasilkan kadar air yang memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan nilai kadar air arang aktif maksimal sebesar 15%. Pengaruh lama aktivasi fisik terhadap kadar air ada yang mengalami penurunan dan ada juga yang mengalami kenaikan. Peningkatan kadar air kemungkinan disebabkan arang aktif telah menyerap molekul air ketika penggilingan atau penyimpanan.

Tabel 3. Mutu Arang aktif
Table 3. Quality of Activated Charcoal

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Rendemen (<i>Yield</i> , %)	Kadar (<i>Level</i> , %)				Daya jerap (<i>Adsorpsi</i>)			LPS (m^2/g)	Total bilangan iodium (Number of Iodium)
		Air (<i>Water conten</i>)	Zat terbang (<i>Volatile matter</i>)	Abu (<i>Ash conten</i>)	Karbon terikat (<i>Bonded carbon</i>)	Iodium (<i>Iodium</i> , mg/g)	Benzena (<i>Benzene</i> , %)	BM (mg/g)		
K3H1S6	46	7,41	12,08	24,23	63,56	232,99	6,42	62,88	233,14	107,18
K3H5S9	43	8,11	12,73	32,53	54,74	403,26	6,81	60,47	224,20	173,40
K3H2S6	45	8,62	15,38	26,86	57,76	442,30	7,49	84,83	314,52	199,04
K3H2S9	35	9,92	15,51	23,35	61,14	557,12	12,71	70,96	263,09	194,99
K4H1S6	31	10,31	15,18	34,27	50,55	647,94	15,59	118,53	439,47	200,86
K4H1S9	27	9,88	12,69	18,70	66,61	618,82	5,09	109,76	406,95	167,08
K4H2S6	54	8,60	11,85	24,73	63,42	648,62	10,15	93,89	348,11	350,25
K4H2S9	28	3,39	14,18	40,77	42,85	582,49	14,08	115,24	427,27	163,10
K45H1S6	87	1,59	13,54	24,45	62,01	237,01	12,64	90,00	333,69	194,35
K45H1S9	27	4,19	13,98	27,15	58,86	429,99	13,38	118,89	440,80	116,10
K45H2S6	20	3,94	12,31	31,82	55,87	672,28	12,38	119,50	443,06	134,46
K45H2S9	14	2,42	11,50	27,53	60,97	698,29	11,40	118,10	437,87	97,76
SNI 06-3730-1995		Maks. 15	Maks. 25	Maks. 10	Min. 65	Min. 750	Min. 25	Min. 120		

Keterangan (*Remark*): BM = Biru Metilena (*Blue methilene*); LPS = Luas Permukaan Spesifik (*Specific Surface Large*)

Menurut Lempang et al. (2012) kadar air arang aktif akan mengalami penurunan dengan peningkatan waktu aktivasi. Kadar air arang aktif dapat dipengaruhi oleh faktor kelembapan, lama proses penggilingan dan pengayakan (El-Hendawy, 2003).

2. Kadar abu

Penetapan kadar abu bertujuan untuk menentukan kadar oksida logam yang terdapat pada arang aktif. Abu terdiri dari kalium, natrium, magnesium, kalsium, dan komponen lain dalam jumlah kecil yang menyebar dalam kisi-kisi arang aktif (Sudradjat, Tresnawati, & Setiawan, 2005). Kadar abu arang aktif berkisar 18,70–40,77%. Kadar abu dari masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3.

Kadar abu terendah terdapat pada perlakuan K4H1S9 yaitu sebesar 18,70% sedangkan perlakuan K4H2S9 menghasilkan kadar abu tertinggi yaitu sebesar 40,77%. Berdasarkan hasil penelitian, semua perlakuan menghasilkan kadar abu yang tidak memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 (BSN, 1995). Persyaratan SNI menyebutkan bahwa kadar abu arang aktif maksimal adalah 10%. Hasil ini lebih tinggi daripada kadar abu arang aktif kulit akasia (Fauziah, 2009), arang aktif dari tempurung biji jarak pagar (Sudradjat et al., 2005), dan arang aktif dari limbah pembalakan kayu puspa (Hendra, 2007). Tingginya kadar abu yang dihasilkan menunjukkan bahwa kandungan oksida logam yang terdapat pada arang aktif tinggi. Kadar abu yang tinggi dapat mengurangi kemampuan arang aktif untuk menyerap gas dan larutan, karena menyumbat pori-pori pada struktur karbon aktif, sehingga mengurangi luas permukaannya.

3. Kadar zat terbang

Kadar zat terbang arang aktif berkisar 11,50–15,51%. Semua perlakuan menghasilkan kadar zat terbang yang telah memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Hasil ini lebih tinggi daripada kadar zat terbang arang aktif dari limbah pembalakan kayu puspa (Hendra, 2007), arang aktif dari kulit akasia (Fauziah, 2009) dan arang aktif dari tempurung biji jarak pagar (Sudradjat et al., 2005). Penggunaan bahan aktivator dan lama aktivasi fisik tidak begitu mempengaruhi kadar zat terbang. Hal ini juga didukung oleh pernyataan Lempang et al. (2012) bahwa lama aktivasi fisik tidak kurang mampu mengurangi zat terbang dari permukaan arang aktif. Kadar zat terbang arang aktif lebih tinggi dari pada kadar zat terbang arang aktif tempurung kemiri (Darmawan, 2008; Lempang et al., 2012).

4. Kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat arang aktif berkisar 42,85–66,61% (Tabel 2). Kadar karbon terikat selalu

berbanding terbalik dengan kadar zat terbang dan abu. Hanya ada satu kondisi pembuatan arang aktif yang menghasilkan kadar karbon terikat sesuai dengan persyaratan SNI 06-3730-1995, yaitu perlakuan K4H1S9 (karbonisasi pada suhu 400°C, dan diaktivasi dengan H₃PO₄ 1%, kemudian diaktivasi secara fisik pada suhu 750°C sambil dialiri uap air selama 90 menit). Hasil ini lebih tinggi daripada arang aktif dari serbuk gergaji kayu mindi, namun lebih rendah daripada karbon terikat dari arang aktif batok kelapa hibrida (Tangkuman, 2009), arang aktif dari limbah pembalakan kayu puspa (Hendra, 2007) dan arang aktif dari kulit akasia (Fauziah, 2009).

5. Daya jerap benzena

Daya jerap arang aktif terhadap benzena berkisar 5,09–15,59%. Semua perlakuan menghasilkan daya jerap terhadap benzena yang belum memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Rendahnya daya jerap arang aktif terhadap benzena menunjukkan bahwa permukaannya cenderung bersifat polar. Arang aktif yang dihasilkan dari bahan aktivator H₃PO₄ dapat membuat permukaan cenderung polar begitu juga dengan aktivasi fisik disertai pengaliran uap air (Lempang et al., 2012).

6. Daya jerap biru metilena

Daya jerap terhadap biru metilena berkisar 60,47–119,50 mg/g. Hasil ini lebih tinggi daripada arang aktif dari tempurung kelapa (Anggarini & Tjahjanto, 2013) dan arang aktif dari biji kapuk, namun lebih kecil daripada arang aktif dari kulit biji teh (Gao, Kong, Wang, Wu, Sun, & Xu, 2013) dan arang aktif dari pohon cina (Cao, Pawlowski, & Zhang, 2010). Kemampuan arang aktif dalam menyerap biru metilena meningkat dengan peningkatan konsentrasi H₃PO₄ (Tabel 2). Hal ini disebabkan oleh kemampuan H₃PO₄ dalam melarutkan komponen pengotor seperti tar dan oksida logam (Gonzalez, Sisual, Pena, & Rodriguez, 2013). Hilangnya komponen pengotor menyebabkan peningkatan luas permukaannya, sehingga kemungkinan terjadinya interaksi antara molekul biru metilena dengan permukaan arang aktif meningkat.

Kemampuan arang aktif dalam menyerap biru metilena meningkat dengan peningkatan suhu karbonisasi. Peningkatan ini hanya terjadi dari suhu karbonisasi 300°C ke 400°C. Hal ini karena peningkatan suhu karbonisasi dapat meningkatkan komponen yang terurai membentuk senyawa volatil berupa gas CH₄, CO, dan CO₂. Hilangnya komponen tersebut kemungkinan menginisiasi terbentuknya pori. Sementara itu, proses karbonisasi di atas suhu 400°C tidak menunjukkan perubahan daya jerap

arang aktif terhadap biru metilena yang signifikan, namun pada kondisi ini terjadi pembentukan struktur aromatik yang termostabil. Proses ini menginisiasi pembentukan poliaromatik (Mochida, Yoon, & Qiao, 2006).

7. Luas Permukaan Spesifik (LPS) metode biru metilena

Luas permukaan spesifik (LPS) arang aktif berkisar 224,21–443,08 m²/g. Luas permukaan spesifik berbanding lurus dengan daya jerap biru metilena. Semakin luas permukaan spesifik, maka semakin besar kemungkinan molekul adsorbat yang bisa berinteraksi dengan sisi aktif permukaan arang aktif. LPS arang aktif berkisar 300–2000 m²/g (Kirk & Othmer, 1964). LPS arang aktif lebih kecil daripada arang aktif komersial, yaitu 750 m²/g.

8. Daya jerap iodium

Daya jerap arang aktif terhadap iodium berkisar 232,99–698,29 mg/g. Hasil ini lebih tinggi dari pada arang aktif dari kulit akasia (Fauziah, 2009), arang aktif dari batok kelapa hibrida (Tangkuman, 2009), dan arang aktif dari limbah padat agar (Azalia, 2014). Namun hasil ini lebih rendah daripada arang aktif dari tempurung kemiri (Lempang et al., 2012) dan arang aktif dari kayu jarak (Sudradjat et al., 2005).

Daya jerap iodium yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Rendahnya daya jerap arang aktif terhadap iodium disebabkan oleh tingginya kadar abu yang dihasilkan. Kadar abu yang tinggi menunjukkan tingginya kadar oksida logam. Kadar abu yang tinggi dapat memperkecil luas permukaan arang aktif karena tertutupi oleh abu, sehingga mengurangi peluang molekul iodium untuk berinteraksi dengan permukaannya. Selain kadar abu, komponen pengotor berupa tar yang terbentuk hasil dari penguraian lignin juga dapat memperkecil luas permukaan.

Secara keseluruhan daya jerap arang aktif terhadap iodium meningkat dengan peningkatan aktivator H₃PO₄. Hal ini disebabkan oleh kemampuan H₃PO₄ dalam melarutkan oksida logam maupun tar (Kurniati, 2008). H₃PO₄ juga dapat mengakibatkan terbentuknya struktur mikropori dan mesopori pada struktur bagian dalam arang aktif (Yue, Economy, & Mangun, 2003). Daya jerap terhadap iodium juga mengalami peningkatan dengan peningkatan lama pengaliran uap air selama proses aktivasi fisik. Hal ini disebabkan oleh terjadinya peningkatan oksidasi karbon membentuk senyawa volati seperti gas CO₂ dan H₂. Hilangnya senyawa volatil tersebut dapat meningkatkan luas permukaan.

9. Total bilangan yodium

Total bilangan iodium dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan kondisi terbaik dalam pembuatan arang aktif. Total bilangan iodium diperoleh dari hasil kali antara persentase rendemen arang aktif dengan daya jerap iodium. Perlakuan dengan persentase dan daya jerap terhadap iodium tertinggi akan menghasilkan total bilangan iodium yang tinggi pula. Perlakuan dengan total bilangan iodium tertinggi merupakan kondisi terbaik dalam pembuatan arang aktif.

Total bilangan iodium tertinggi diperoleh pada perlakuan K4H2S6 (Karbonisasi suhu 400°C, aktivasi menggunakan H₃PO₄ 2%, dilanjutkan aktivasi fisik pada suhu 750°C sambil dialiri uap air selama 60 menit), yaitu 350,25 mg/g. Pada kondisi ini diperoleh rendemen arang aktif sebesar 54%, kadar air 8,60%, zat terbang 11,85%, abu, 24,73%, karbon terikat 63,42%, daya jerap iodium 648,62 mg/g, daya jerap benzena 10,15%, daya jerap terhadap biru metilena 93,89 mg/g, dan LPS sebesar 348,11 m²/g.

IV. KESIMPULAN

Mutu arang aktif kulit dari limbah buah malapari hanya kadar air dan zat terbang yang memenuhi persyaratan SNI. Kondisi optimum pembuatan arang aktif dihasilkan dari limbah kulit buah malapari yang dikarbonisasi pada suhu 400°C, diaktivasi menggunakan H₃PO₄ 2%, dilanjutkan dengan aktivasi fisik pada suhu 750°C sambil dialiri uap air selama 60 menit.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh DH, NAS, ER dan IB; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh DH, NAS, ER dan IB; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh RR; penulisan manuskrip oleh DH, NAS, ER dan IB; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh DH, NAS, ER dan IB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimah, D. (2011). Budidaya dan potensi malapari (*Pongamia pinnata* L. Pierre) sebagai tanaman penghasil bahan bakar nabati. *Galam*, 5(1), 35-49.
- Anggarini, D., & Tjahyo, R.T. (2013). Studi aktivasi arang dari tempurung kelapa dengan pengozonan. *Kimia Student Journal*, 2(1), 400-406.
- Aprianis, Y. (2012). Karakteristik arang aktif dari tunggak *Acacia crassicarpa*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(4), 261–268.

- Cao, Y., Pawlowski, A., & Zhang, J. (2010). Preparation of activated carbons with enhanced adsorption of cationic and anionic dyes from chinese hickory husk using the taguchi method. *Environment Protection Engineering*, 36(3), 69–86.
- Darmawan. (2008). Sifat arang aktif tempurung kemiri dan pemanfaatannya sebagai penyerap emisi papan serat berkerapan sedang.
- El-Hendawy, A. N. A. (2003). Influence of HNO₃ oxidation on the structure and adsorptive properties of corncob-based activated carbon. *Carbon*, 41(4), 713–722. doi: 10.1016/S0008-6223(03)00029-0
- Fauziah, N. (2009). Pembuatan arang aktif secara langsung dari kulit *Acacia mangium* Wild dengan aktivasi fisika dan aplikasinya sebagai adsorben. (Skripsi). Program Pendidikan Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Gao, J., Kong, D., Wang, Y., Wu, J., Sun, S., & Xu, P. (2013). Production of mesoporous activated carbon from tea fruit peel residues and its evaluation of methylene blue removal from aqueous solutions. *BioResources*, 8(2), 2145–2160. doi: 10.15376/biores.8.2.2145-2160.
- Gonzalez, M. ., Susial, P., Peña Perez, J., & Rodriguez, D. (2013). Chemical activation with phosphoric acid adsorption of methylene blue. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 595–608.
- Hartoyo, Hudaya, N., & Fadli. (1990). Pembuatan arang aktif limbah tempurung kelapa dan kayu bakau dengan cara aktivasi uap. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 8(1), 8-16.
- Hendra, D. (2007). The manufacture of activated charcoal from logging waste of puspa wood implementing production technology in semi pilot scale. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 25(2), 93–107.
- Pakpahan, J.F., Tambunan, T., Harimby, A., & Ritonga, M.Y. (2013). Pengurangan ffa dan warna dari minyak jelantah dengan adsorben serabut kelapa dan jerami. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 31–36. doi: 10.132734/jtk.v2il.1424.
- Khas, H., & Delhi, N. (2004). Kinetics study of methylene blue dye. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2(2), 35–43.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1964). Encyclopedia of chemical technology. Vol. 4. cal compounds to chloramphenicol. *InterScience*.
- Kurniati, E. (2008). Pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai arang aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, 8(2), 96–103.
- Kurniawan, T. (2011). Adsorben berbasis limbah padat tapioka. (Skripsi). Program Pendidikan Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Lempang, M., Syafii, W., & Pari, G. (2012). Properties and quality of candlenut shell activated charcoal. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(2), 100–113. doi: 10.20886/jphh.2012.30.2.100-113.
- Mardjono, R. (2008). Mengenal ki pahang (*Pongamia pinnata*) sebagai bahan bakar alternatif harapan masa depan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri* 14 (April), 1-34.
- Mochida, I., Yoon, S. H., & Qiao, W. (2006). Catalysts in syntheses of carbon and carbon precursors. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17(6), 1059–1073. doi: 10.1590/S0103-505320060006000002.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1995) *Arang aktif teknis*. Dewan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Sudradjat, R. (2011). Arang aktif: teknologi pengolahan dan masa depannya. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Sudradjat, R., Tresnawati, D., & Setiawan, D. (2005). Pembuatan arang aktif dari tempurung biji jarak pagar. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23(2), 143-162.
- Tangkuman, H. D. (2009). Perbandingan kualitas karbon aktif yang dibuat dari batok kelapa hibrida dan batok kelapa dalam. *Chemistry. Progress.*, 2(1), 29-32.
- Yue, Z., Economy, J., & Mangun, C. L. (2003). Preparation of fibrous porous materials by chemical activation 2. H₃PO₄ activation of polymer coated fibers. *Carbon*, 41(9), 1809-1817. doi: 10.1016/S0008-6223(03)00151-9.