



Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika

Manufacture and Analysis of Activated Carbon from Rubber Fruit Shell with Chemical and Physical Processing

Lisna Efiyanti*, Suci Aprianty Wati¹ & Mamay Maslahat²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor, Jawa Barat 16610

²Universitas Nusa Bangsa, Jl Cibadak, Tanah Sareal, Bogor, Jawa Barat 16166

Email: lisnaefiyanti@yahoo.com

HASIL PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (*received*): 14 Oktober 2019

Diterima (*accepted*): 16 Januari 2020

KEYWORDS

activated carbon, adsorption, activation, rubber fruit shell

KATA KUNCI

karbon aktif, adsorpsi, aktivasi, cangkang buah karet

ABSTRACT

The utilization of activated carbon in Indonesia is increased, which is in line with the increase of activated carbon needs, therefore it is necessary to search the raw materials and methods continuously for good quality activated carbon. One of the raw materials that can be used to produce activated carbon is a rubber fruit shell because it is not properly utilized. In this research, activated carbon was made from rubber fruit shells by the steam activation method at a temperature of 650°C, 10% potassium hydroxide, and 10% phosphoric acid activation. The activated carbon was then analyzed using SNI 06-3730-1995 methods with parameters of water content, ash content, volatile matter content, fixed carbon content, iod adsorption, methylene blue adsorption, and benzene adsorption. The functional groups, crystallinity, and morphology of activated carbon also analyzed using FTIR, XRD, and SEM respectively. The results shows that the water content, ash content, volatile matter content, fixed carbon content, iod adsorption, methylene blue adsorption, and benzene adsorption are 1,83-3,74%; 2,86-8,14; 7,36-13,55; 82,8-89,78%; 355,21-569,39 mg/g; 10,34-17,61 mg/g; 8,09-19,26%, respectively. The FTIR results from activated carbon are contain of several functional groups, like OH; CH aliphatic, CH aromatic, C=O; C-C; C=C and C-O, meanwhile the degree of crystallinity from activated carbon formed are ranged 11,34-30,78% with 5-9 μm of pore size. The activated carbon with KOH activator has good adsorption in iod and methylene blue compound meanwhile activated carbon from steam activation can be a good adsorbent on the benzene compound.

INTISARI

Penggunaan karbon aktif di Indonesia semakin meluas sejalan dengan meningkatnya kebutuhan terhadap karbon aktif tersebut, sehingga perlu terus diupayakan pencarian bahan baku dan metode pembuatan karbon aktif untuk menghasilkan karbon aktif yang berkualitas. Salah satu bahan baku yang dapat digunakan untuk menghasilkan karbon aktif adalah cangkang buah karet karena keberadaannya tidak termanfaatkan dengan baik. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet masing-masing dengan metode aktivasi *steam* pada suhu 650°C, aktivasi dengan kalium hidroksida 10% dan aktivasi dengan asam

fosfat 10%. Karbon aktif yang terbentuk kemudian dianalisa menggunakan metode SNI 06-3730-1995 dengan parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, daya jerap iod, daya jerap biru metilen dan daya jerap benzena. Gugus fungsi, kristalinitas dan morfologi karbon aktif dianalisa masing-masing menggunakan FTIR, XRD dan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, daya jerap iod, daya jerap biru metilen dan daya jerap benzena masing-masing sebesar 1,83-3,74%; 2,86-8,14; 7,36-13,55; 82,8-89,78%; 355,21-569,39 mg/g; 10,34-17,61 mg/g; 8,09-19,26%. Hasil FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terdeteksi pada karbon aktif adalah gugus OH, CH alifatik, CH aromatik, C=O, C-C, C=C dan C-O, sedangkan kristalinitas karbon aktif berkisar antara 11,34-30,78% dengan ukuran pori sebesar 5-9 μm . Karbon aktif dengan aktivator KOH dapat menyerap senyawa iod dan metilen biru lebih baik sedangkan karbon aktif aktivasi *steam* memiliki daya jerap terbaik pada adsorpsi senyawa benzena.

© Jurnal Ilmu Kehutanan -All rights reserved

Pendahuluan

Penggunaan karbon aktif di Indonesia semakin meluas diberbagai bidang, sehingga kebutuhan akan suplai karbon aktif semakin tinggi. Dari tahun-ketahun ekspor karbon aktif Indonesia cenderung semakin menurun sedangkan impor karbon aktif cenderung meningkat dengan kecenderungan peningkatan sekitar 5,86% terhitung dari tahun 2012-2016. Tahun 2016 tercatat impor karbon aktif cukup tinggi yaitu senilai 16.175.200 US\$ (Kemenperin¹ 2017) sedangkan nilai ekspor karbon aktif 34.270.000 US\$ pada tahun 2015 dan 31.376.000 US\$ pada tahun 2017 (Kemenperin² 2017). Karbon aktif dinilai cukup menjanjikan untuk dikembangkan agar dapat menghasilkan devisa bagi negara serta untuk pemenuhan kebutuhan dalam negeri agar tidak diperlukan banyak impor dimasa depan. Indonesia memiliki bonus demografi yang bagus sehingga memiliki kekayaan sumberdaya alam yang melimpah termasuk beragamnya jenis biomassa berlignoselulosa yang dapat dijadikan bahan baku pembuatan karbon aktif. Biomassa lignonesulosa dinilai sebagai material utama dalam pembentukan karbon aktif karena memiliki komposisi lignin dan karbon yang tinggi serta mudah dan dapat diperbaharui (González-García 2018).

Beberapa penelitian sebelumnya banyak menggunakan beberapa jenis biomassa lignoselulosa sebagai bahan baku karbon aktif untuk berbagai aplikasi dengan variasi aktivator. Beberapa

diantaranya adalah kulit buah delima untuk adsorpsi *remazol brilliant blue-R* (RBBR) dengan nilai adsorpsi optimum sebesar 94,36% (Ahmad et al. 2014), limbah *Nigella sativa* untuk adsorpsi *comassie brilliant blue dye* (Abdel-Gani et al. 2019), limbah kulit apel untuk adsorpsi metil merah (Khan et al. 2018), kayu kelapa sawit untuk adsorpsi metilen biru (Ahmad et al. 2007), limbah kopi untuk adsorpsi metal jingga (Rattanapan et al. 2017). Bahan baku lain yang juga digunakan yaitu kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L) dengan aktivator H_3PO_4 (Shamsuddin et al. 2016), kulit apel dengan aktivator H_2SO_4 mengadsorpsi Cr lebih dari 95% (Doke & Khan 2017), limbah kulit buah *T. cattapa* untuk adsorpsi merkuri (Inbaraj & Sulochana. 2006), kernel mangga menggunakan aktivator H_3PO_4 40% untuk adsorpsi Cr (VI) maksimum sebanyak 7,8 mg/g (Rai et al. 2016), tempurung kelapa (Salleh et al. 2014), bambu (Kumar & Tyagi 2018), limbah kulit buah nangka dengan aktivator H_3PO_4 (Prahas et al. 2008). Aplikasi lain karbon aktif diantaranya pupuk dan media tanaman (Carrari et al. 2018), bahan superkapasitor (Elaiyappillai et al. 2019), elektrokimia (Ibeh et al. 2019), katalis (Xu et al. 2012; Kumar et al. 2015; Peng et al. 2017; Suriyachai et al. 2017; Shen et al. 2018).

Dalam rangka memenuhi tingginya permintaan dan pemenuhan kebutuhan karbon aktif dan mengurangi arus impor karbon aktif, serta adanya potensi bahan baku yang kurang dimanfaatkan diperlukan upaya pencarian sumber bahan baku dan metode yang tepat untuk pembuatan karbon aktif

agar dapat dimanfaatkan secara tepat guna. Salah satu bahan baku yang dapat dimanfaatkan adalah cangkang buah karet karena di Indonesia tanaman karet sendiri cukup banyak dengan luas lahan sekitar 3,4 juta Ha dan produksi getah karet nasional menghasilkan nilai ekspor sekitar 23 juta US\$ pada tahun 2016 (Kemenperin³ 2017) dengan potensi cangkang karet 500kg/ha/tahun (Astawan et al.2018). Tanaman karet merupakan tanaman industri yang pada umumnya hanya memanfaatkan getahnya saja, sedangkan bagian lain seperti cangkang buah karet tidak dimanfaatkan dan hanya menjadi limbah padahal memiliki kandungan lignin yang tinggi sekitar 33,54% dan selulosa 48,64% (Vinsiah et al. 2014). Beberapa penelitian pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet diantaranya Meilianti (2017), Zulfadhli dan Iriany (2017) untuk adsorpsi Cr VI dengan aktivator H_3PO_4 dan tempurung biji karet dengan H_3PO_4 (Ramayana et al. 2017). Sehingga penggunaan bahan baku cangkang buah karet ini diharapkan mampu meningkatkan nilai tambah limbah karet dan mengurangi biaya dari segi bahan baku pembuatan karbon aktif.

Karbon aktif merupakan produk padatan yang dihasilkan dari karbonisasi dan aktivasi biomassa lignoselulosa dan beberapa metode dan aktivator diantaranya menggunakan *steam* (Kan et al. 2015; Im et al. 2018; Selvaraju & Bakar 2018; Yek et al. 2019), aktivator KOH (Foo & Hameed 2012; Ahmad et al. 2014; Mohammed et al. 2015, Juwita et al. 2018; Jaria et al. 2019; Oginni et al. 2019) maupun H_3PO_4 (Prahas et al. 2008; Shamsuddin et al. 2016; Rai et al. 2016; Belhamdi et al. 2019). Masing-masing aktivator dapat menghasilkan karakter karbon aktif yang berbeda, namun faktor lain juga berpengaruh yaitu bahan baku, proses pirolisis dan kondisi aktivasi serta alat yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketiga aktivator yang berbeda (*steam*, KOH dan H_3PO_4) pada pembuatan karbon aktif dengan menggunakan suhu aktivasi setelah 650°C. Hal ini dilakukan untuk mengetahui aktivator yang lebih tepat untuk pembuatan karbon aktif cangkang buah karet sehingga menghasilkan karbon aktif yang berkualitas sesuai tujuan penggunaan. Hasil karbon aktif dikarakterisasi menggunakan metode yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995), termasuk daya

jerap terhadap iod, metilen biru, benzena, dengan menganalisa secara deskriptif dan membandingkan hasil yang telah didapat dengan acuan pada SNI dan referensi terkait.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkang buah karet (CBK), kalium hidroksida (Merck-Jerman), asam fosfat (Merck-Jerman), akuades, larutan $Na_2S_2O_3$ 0,1 N, larutan iodium 0,1 N, kanji, metilen biru 100 ppm, benzena (Merck-Jerman), alkohol (Merck-Jerman). Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven, desikator, tanur, mortar, saringan 100 mesh, pengaduk magnetik, kertas saring, kertas pH universal, neraca analitik (Mettler Toledo AB45-S), *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL USA, *JSM-IT 200, Fourir Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) Perkin Elmer USA- *Model Spectrum One, X-Ray Diffraction* (XRD) 7000 Shimadzu-Jepang, Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu Jepang).

Metode penelitian

Bahan baku pembuatan karbon aktif yaitu cangkang buah karet (CBK) yang dipisahkan dari kulitnya dan dicuci menggunakan akuades, kemudian dijemur dibawah sinar matahari sampai kering. Cangkang buah karet hasil penjemuran dipirolisis pada suhu 500°C selama 3 jam (Bangun, 2015) sehingga didapatkan karbon hasil pirolisis (kode sampel : KCBK). Karbon tersebut kemudian diaktivasi fisika dengan cara di *steam* pada suhu 650°C dengan dialiri uap air selama 90 menit sehingga didapatkan karbon aktif (kode sampel : KS). Untuk proses aktivasi kimia dengan kalium hidroksida dan asam fosfat dimulai dengan merendam karbon hasil pirolisis masing-masing dalam KOH 10% dan H_3PO_4 10% selama 24 jam. Hasil perendaman kemudian ditiriskan dan diaktivasi kembali menggunakan reaktor pada suhu 650°C dengan dialiri uap air selama 90 menit (Rosalina et al. 2016). Karbon hasil aktivasi kemudian dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C hingga kering. Karbon aktif hasil aktivasi menggunakan KOH diberi kode sampel KK

dan karbon aktif hasil aktivasi menggunakan H_3PO_4 diberi kode sampel KH. Untuk mengetahui karakter dari karbon aktif yang telah dibuat, dilakukan karakterisasi masing-masing karbon aktif sesuai dengan metode Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995) meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, daya jerap iod, daya jerap metilen biru dan daya jerap benzena. Rendemen karbon aktif dihitung berdasarkan ASTM 1979 dan luas permukaan karbon aktif dihitung dari daya jerap metilen biru menggunakan persamaan (1). Gugus fungsi, kristalinitas dan morfologi karbon aktif juga dianalisa masing-masing menggunakan FTIR, XRD dan SEM.

Perhitungan luas permukaan karbon aktif (Pari et al. 1996) :

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan

- S = Luas permukaan adsorben (m^2/g)
- X_m = Berat adsorbat teradsorpsi
- N = Bilangan Avogadro ($6,002 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
- a = Luas penutupan oleh 1 molekul metilen biru ($197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$)
- M_r = Massa molekul relatif metilen biru ($319,85 \text{ g/mol}$)

Hasil dan Pembahasan

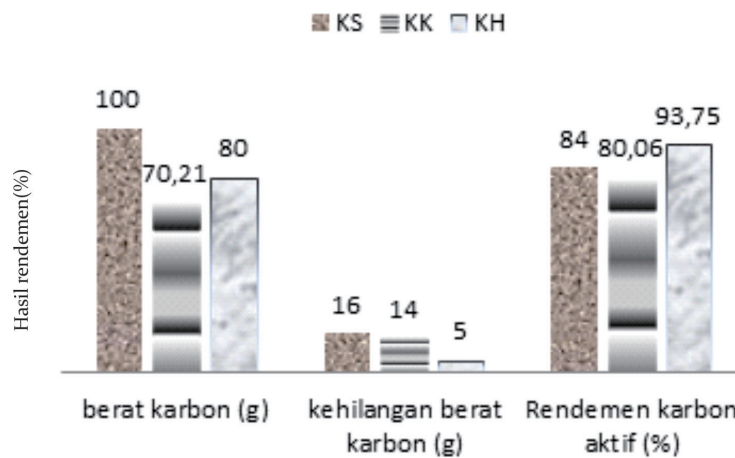
Rendemen karbon dan karbon aktif

Pembuatan karbon aktif pada penelitian ini diawali dengan proses pirolisis melalui pemanasan tanpa keberadaan oksigen sehingga material terdehidrasi

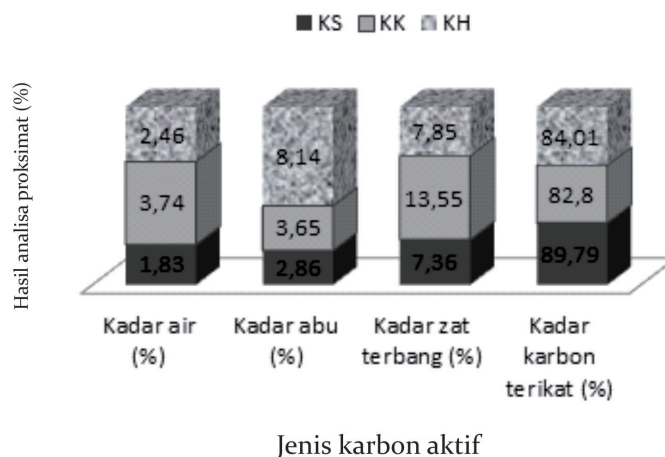
dan terdevolatilisasi sehingga menghasilkan karbon (Lam et al. 2018) dengan rendemen 26,7%.

Beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap rendemen dan kualitas karbon adalah jenis bahan baku, komposisi bahan baku, berat jenis bahan baku, kristalinitas bahan baku, rasio S/G, komposisi C,H,O bahan baku serta proses karbonisasi itu sendiri. Bahan baku dengan kandungan lignin tinggi dan selulosa rendah, berat jenis tinggi, kristalinitas tinggi, rasio S/G rendah, komposisi C dan H yang tinggi dengan kandungan oksigen rendah disinyalir dapat menghasilkan karbon dengan rendemen yang tinggi disertai nilai karbon terikat yang juga tinggi, sementara zat terbang dan kadar abu bernilai rendah (Pereira et al. 2013).

Bahan baku CBK memiliki struktur yang cukup keras seperti tempurung biji kemiri dan cangkang biji mete sehingga dilakukan pirolisis pada suhu 500°C agar semua komponen penyusun CBK dapat terdekomposisi dan berkontribusi terhadap pembentukan karbon, terutama lignin. Hal ini sejalan dengan penelitian Polleto et al. (2010) bahwa biomassa lignoselulosa terdegradasi pada beberapa tahap, diantaranya degradasi hemiselulosa pada suhu $180-300^\circ\text{C}$ yang disusul oleh degradasi selulosa pada suhu $275-300^\circ\text{C}$, baru kemudian komponen lignin terdegradasi pada suhu yang lebih tinggi 250°C hingga 500°C . Sementara itu Astawan et al. (2018) menambahkan bahwa pada suhu 350-400 merupakan tahap pemurnian karbon dan peningkatan kadar karbon.



Gambar 1. Rendemen karbon aktif hasil aktivasi steam (KS), KOH (KK) dan H_3PO_4 (KH)
Figure 1. Yield of activated carbon by steam(KS), KOH (KK) and H_3PO_4 (KH) activation



Gambar 2. Analisa proksimat karbon aktif hasil aktivasi steam (KS), KOH (KK) dan H_3PO_4 (KH)
Figure 2. Proximate analysis of activated carbon by steam (KS), KOH (KK) and H_3PO_4 (KH) activation

Pada penelitian ini karbon hasil pirolisis kemudian diaktivasi dengan aktivator *steam*, KOH dan H_3PO_4 masing-masing pada suhu $650^\circ C$ selama 90 menit untuk mendapatkan karbon aktif. Pembuatan karbon aktif bertujuan untuk mengaktifkan karbon agar memiliki pori yang lebih terbuka (Liew et al. 2018), menghilangkan senyawa tar dari pori karbon (Bansal & Goyal 2005), serta memodifikasi permukaan karbon dengan zat pengoksidasi tersebut sehingga dapat lebih maksimal dalam pemanfaatannya, terutama untuk aplikasi sebagai adsorben.

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa rendemen karbon aktif hasil aktivasi *steam*, KOH dan H_3PO_4 masing-masing sebesar 84,00; 80,06 dan 93,75% dengan rendemen tertinggi diperoleh dari hasil aktivasi menggunakan H_3PO_4 . Tingginya suhu aktivasi, kandungan air dan zat mudah menguap pada karbon hasil pirolisis dapat mempengaruhi rendemen karbon aktif yang dihasilkan karena semakin tinggi suhu, maka proses pembakaran lebih cepat terjadi dan membentuk rendemen yang lebih rendah, sedangkan kandungan air dan zat mudah menguap yang tinggi akan menurunkan jumlah karbon yang didapatkan.

Proses aktivasi menggunakan uap air/*steam* bertujuan untuk membuka pori karbon dari senyawa hidrokarbon yang menempel pada permukaan karbon. Aktivasi menggunakan bahan kimia pada umumnya dapat membuka pori lebih banyak karena aktivator kimia mampu mendegradasi molekul

organik pada saat karbonisasi serta mengurangi zat pengotor pada karbon sehingga dapat menghasilkan karbon aktif dengan jumlah lebih banyak, terutama H_3PO_4 dinilai mampu menghambat laju oksidasi dan melindungi karbon dari suhu yang tinggi (Wibowo et al. 2011).

Kualitas karbon aktif

Karbon aktif dianalisa beberapa parameter seperti kadar air, kadar abu, kadar zat terbang serta kadar karbon terikat untuk melihat kualitas dari karbon aktif itu sendiri sesuai dengan standar acuan SNI. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa kadar air ketiga sampel karbon aktif memiliki kadar air sekitar 1,83-3,75% dengan kadar air terendah dimiliki oleh karbon aktif hasil aktivasi *steam* kemudian diikuti karbon aktif hasil aktivasi H_3PO_4 dan tertinggi didapat dari karbon aktif hasil aktivasi menggunakan KOH. Hasil tersebut masih sesuai dengan persyaratan standar acuan SNI yakni $< 15\%$. Kadar air yang rendah menunjukkan selama karbonisasi, air bebas dan air terikat telah menguap. Kemudian aktivator asam bersifat lebih dapat menimbulkan kerusakan kompleks pada oksigen dan memberi efek dehidrasi sehingga kandungan air lebih kecil dibanding pada penggunaan aktivator basa (Erawati & Andriansyah 2018; Marsh & Reinoso 2006).

Kadar abu karbon aktif berkisar antara 2,86-8,14% dengan kadar abu terendah didapat pada karbon aktif hasil aktivasi *steam* dan tertinggi hasil aktivasi menggunakan H_3PO_4 . Hasil tersebut jika

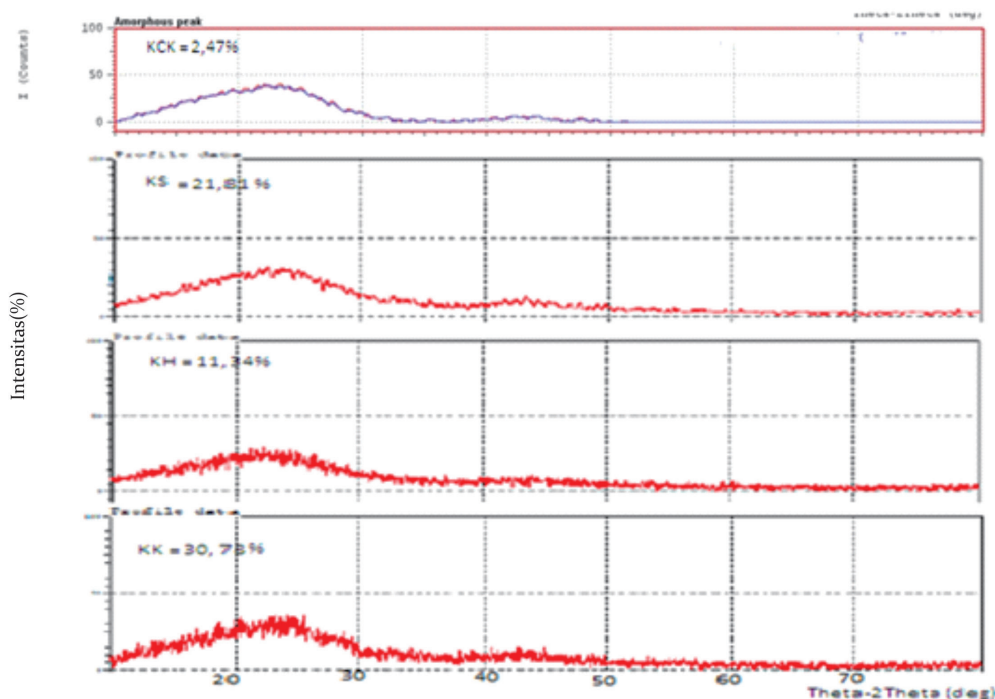
dibandingkan dengan persyaratan SNI memenuhi standar kualitas karbon aktif karena bernilai <10%. Tingginya hasil kadar air dan kadar abu berkaitan dengan terperangkapnya mineral dan air kedalam pori karbon (Zulfadly&Iriany 2017). Untuk kadar zat terbang ketiga sampel karbon aktif yang dihasilkan berkisar antara 7,36-13,55 (kadar tertinggi diperoleh dari karbon aktif hasil H_3PO_4 dan terendah dari aktivasi *steam*) sedangkan untuk kadar karbon terikat didapatkan kemurnian karbon berkisar 82,80-89,79% dengan karbon terikat tertinggi diperoleh dari hasil *steam* dan terendah dari hasil aktivasi KOH. Proses karbonisasi dan aktivasi dapat membuat molekul organik menjadi tidak stabil sehingga ikatan antar molekulnya terpecah, juga membuat zat terbang pada material lepas menjadi gas dan produk cair sehingga karbon terikat semakin tinggi (Ahmed et al. 2014).

Hasil zat terbang dan karbon terikat juga memenuhi persyaratan SNI dikarenakan bernilai <25% untuk zat terbang dan >65% untuk karbon terikat. Hasil penelitian ini dinilai lebih baik apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Zulfadhli

dan Iriany (2017) yang membuat karbon aktif dari cangkang buah karet dengan aktivasi H_3PO_4 menghasilkan rendemen 47,50%, kadar air 0,30-0,50% dan kadar abu yang tinggi sekitar 9,90-12,00% sehingga tidak memenuhi SNI karbon aktif pada parameter kadar abu.

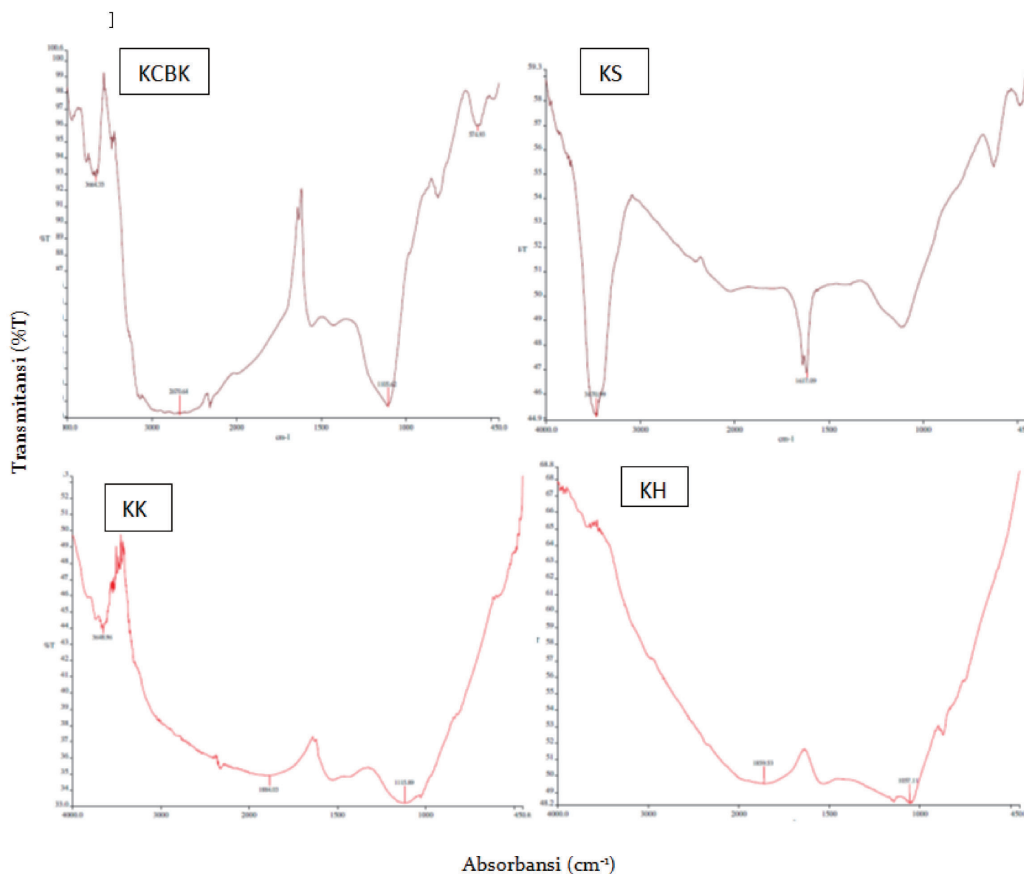
Struktur karbon aktif

Hasil analisa XRD memberikan gambaran pola difraksi dari setiap karbon aktif hasil aktivasi, baik dengan menggunakan *steam*, KOH maupun H_3PO_4 . Dari gambar 3 terlihat bahwa pola difraksi ketiga macam karbon aktif menunjukkan struktur karbon yang cenderung amorf diindikasikan dengan puncak difraksi melebar dan lemah (Ellaiyappillai et al. 2019) pada 2θ 10-30, tidak tajam dan sempit seperti pola difraksi kristalin serta puncak sedikit menyempit pada $2\theta=23$ dan 26 yang menunjukkan karbon grafit. Hasil ini sesuai dengan penelitian Im et al. (2019) yang mendapatkan pola difraksi karbon aktif dari kokas dengan pola serupa. Kristalinitas ditunjukkan juga dengan berkurangnya jarak lapisan aromatik (d) dan bertambahnya lebar lapisan aromatik (La) dan



Gambar 3. Hasil analisa XRD karbon cangkang buah karet (KCBK), karbon aktivasi steam (KS), KOH (KK) dan H_3PO_4 (KH)

Figure 3. XRD analysis of rubber fruit shell carbon (KCBK), activated carbon by steam (KS), KOH (KK) and H_3PO_4 (KH)



Gambar 4. Analisis FTIR karbon cangkang buah karet (KCBK), karbon aktif hasil aktivasi steam (KS), KOH (KK) dan H_3PO_4 (KH)
Figure 4. FTIR analysis of rubber fruit shell carbon (KCBK), activated carbon from steam (KS), KOH (KK) and H_3PO_4 (KH)

berhubungan dengan keteraturan suatu material. Semakin teratur suatu bahan, maka semakin meningkat kristalinitasnya. Karbon tanpa aktivasi hanya memiliki kristalinitas 2,47% sedangkan karbon hasil aktivasi *steam*, KOH dan H_3PO_4 masing-masing memiliki kristalinitas sebesar 21,18; 30,78 dan 11,34% dengan kristalinitas tertinggi didapatkan dari karbon aktif hasil aktivasi KOH (KK).

Proses aktivasi akan dapat menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaan karbon, membuka pori dan membuat pori-pori baru yang lebih teratur sehingga kristalinitas meningkat dibanding tanpa proses aktivasi. Hasil kristalinitas karbon aktif CBK dengan aktivasi KOH lebih tinggi dibandingkan penelitian Darmawan (2015) yang mendapatkan nilai kristalinitas karbon aktif kayu sebesar 23-27%. Hal ini dimungkinkan karena adanya perbedaan suhu pada saat aktivasi, dimana pada penelitian ini dilakukan pada 650°C sedangkan pada penelitian Darmawan (2015) pada suhu 800°C.

Gambar 4 menunjukkan analisa FTIR terhadap bahan karbon cangkang buah karet dan karbon aktif dari hasil aktivasi *steam*, KOH dan H_3PO_4 . Spektra karbon aktif sedikit berbeda dari spektra karbon tanpa aktivasi, adanya perubahan bentuk spektra, pergeseran, pengurangan intensitas serta penambahan puncak baru setelah proses aktivasi kemungkinan disebabkan karena adanya proses karbonisasi dan aktivasi menyebabkan terjadinya dehidrasi, dekomposisi gugus kompleks lignoselulosa menjadi gugus yang lebih sederhana (Khan et al. 2018).

Dapat dilihat bahwa pada Gambar 4 (KCBK) terdapat puncak yang lebar dan cukup kuat pada bilangan gelombang 3664,35 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi regang OH dari gugus hidroksil dengan ikatan hidrogen. Gugus OH juga muncul pada sampel karbon aktif KS, KK dan KH dengan masing-masing muncul pada bilangan gelombang 3470,99; 3600,48; dan 3600 cm^{-1} dengan intensitas yang lebih

melemah. Puncak vibrasi gugus OH tersebut terlihat cukup tajam sehingga mengindikasikan ikatan OH bebas yang kemungkinan berasal dari ikatan hidrogen sehingga dimungkinkan berinteraksi dengan molekul air yang teradsorpsi oleh sampel karbon aktif (Inbaraj et al. 2006). Pada sampel KCBK, KS, KK dan KH juga muncul bilangan gelombang 2670,64; 2600; 2400 dan 2400 yang menunjukkan adanya gugus fungsi C rangkap tiga dari peregangan grup alkuna. Hal ini sesuai dengan penelitian Ahmad et al. (2014) dan Rattanapan et al. (2017) bahwa gugus fungsi OH berkisar antara 3200-3700 cm^{-1} dan C rangkap tiga berada pada bilangan gelombang 2067-2900 cm^{-1} .

Gugus fungsi C=O muncul pada bilangan gelombang sekitar 1800-an cm^{-1} pada karbon aktif KS, KK dan KH namun tidak muncul pada sampel KCBK. Bilangan gelombang tersebut sedikit berbeda dengan Belhamdi et al. 2019 yang menemukan gugus fungsi C=O muncul pada bilangan gelombang sekitar 1640-1700 cm^{-1} , namun tidak jauh berbeda dengan Ahmad et al. (2014) dan Rattanapan et al. (2017) yang menemukan bahwa gugus C=O muncul pada bilangan gelombang sekitar 1700-1900 cm^{-1} . Gugus C=O pada umumnya merupakan gambaran vibrasi regang dari asam karboksilat, keton ataupun grup lakton (Belhamdi et al. 2019). Gugus hidroksil dan karbonil bersifat polar sehingga membuat permukaan karbon aktif bersifat hidrofilik dan meningkatkan keterbasahan karbon aktif (Xi et al. 2019).

Gugus fungsi C=C yang menggambarkan ikatan cincin aromatik muncul pada masing-masing bilangan gelombang 1500; 1617,09; 1500 dan 1500 cm^{-1} untuk KCBK, KS, KK dan KH secara berurutan. Bilangan gelombang tersebut tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian Tazibet et al. (2016) dan Ahmed et al. (2014) bahwa gugus C=C cincin aromatik ditunjukkan pada bilangan gelombang 1400-1583 cm^{-1} . Kemudian untuk bilangan gelombang 1105,62 cm^{-1} pada KCBK, 1100 cm^{-1} pada KS, 1115,89 cm^{-1} pada KK disinyalir menunjukkan gugus fungsi C-O regang dari eter, ester atau fenol (Ahmed et al. 2014; Rattanapan et al. 2017). Hal ini juga sesuai dengan penelitian Doke dan Khan (2017) yang menemukan bahwa gugus fungsi C-O dari eter dan ester muncul pada bilangan gelombang 1060-1319 cm^{-1} .

Setelah proses aktivasi dengan H_3PO_4 dapat dilihat adanya bilangan gelombang sekitar 1057,11 cm^{-1} yang kemungkinan menunjukkan vibrasi regang dari P=O dari grup aromatik P-O-C, vibrasi regang yang terhubung dengan P^+-O^- terionisasi ataupun vibrasi asimetrik dari P-O-P (Khan et al. 2018) sedangkan bilangan gelombang 800 cm^{-1} menunjukkan P-OR dari ester (Belhamdi et al. 2019). Pada aktivasi secara fisika seperti *steam*, pada umumnya karbon aktif hanya memiliki gugus fungsi berbasis oksigen pada permukaan karbon, sedangkan dengan aktivasi asam fosfat, ikatan P-O-C dapat terhubung dengan permukaan karbon, hal ini juga terjadi ketika karbon diaktivasi dengan KOH sehingga ion logam dapat terhubung dengan C dan O pada permukaan karbon (Danish & Ahmad, 2018). Selama aktivasi menggunakan KOH, gugus OK yang terbentuk pada permukaan ditransformasikan menjadi gugus OH pada pencucian dengan air melalui reaksi pertukaran ion sehingga karbon aktif menjadi bersifat hidrofilik (Viswanathan et al. 2009).

Informasi mengenai permukaan kimia dari material karbon sangatlah penting karena berbagai aplikasi karbon dipengaruhi dari keberadaan gugus fungsinya. Sebagai contoh, penggunaan karbon untuk adsorpsi memerlukan gugus fungsi tertentu yang dapat meningkatkan daya jerap akibat interaksi molekul dengan gugus fungsi tersebut dan mencegah adsorpsi spesifik terjadi serta menghalangi molekul lain untuk menempati situs adsorpsi pada permukaan (Ogini et al. 2019).

Daya jerap karbon aktif

Banyak metode untuk menilai performa adsorpsi dari karbon aktif diantaranya yang sering digunakan sebagai nilai evaluasi adalah daya jerap iod, yang didefinisikan sebagai jumlah miligram iod yang terjerap kedalam 1 gram karbon aktif (Li et al. 2005; Kandah et al. 2006). Dengan mengetahui daya jerap karbon aktif terhadap iod, akan diketahui kemampuan karbon aktif menyerap zat dengan ukuran molekul 10 Å sehingga memberi indikasi jumlah pori 10-15 Å (Rumidatul dalam Meilianti 2017). Dari tabel 1 dapat dilihat hasil daya jerap ketiga sampel karbon aktif terhadap senyawa iod sehingga menghasilkan daya jerap karbon aktif *steam*, KOH

dan H₃PO₄ masing-masing sebesar 523,05, 569,39 dan 355,21 mg/g. Daya jerap iod tertinggi dihasilkan oleh karbon aktif hasil aktivasi KOH, namun nilai tidak memenuhi standar persyaratan SNI untuk parameter daya jerap iod yaitu minimal 750 mg/g. Karbon aktif hasil aktivasi KOH dinilai memiliki daya jerap terbaik dikarenakan kemungkinan memiliki pori yang lebih banyak dengan ukuran yang kecil dibanding hasil aktivasi lain walaupun terdapat mesopori pada struktur porinya dengan pengotor yang menutupi permukaan pori (Gambar 5). Hasil ini juga lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Meilianti (2017) dengan daya jerap iod 739-947 mg/g pada karbon aktif cangkang buah karet dengan aktivator H₃PO₃ namun suhu aktivasi yang digunakan adalah 750°C.

Karbon aktif merupakan material berpori dan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, akan tetapi banyak faktor yang dapat menyebabkan proses adsorpsi tidak berjalan maksimal. Evaluasi daya jerap karbon aktif dari batubara terhadap iod dalam bentuk iod radio aktif dan iod yang stabil dari limbah pembangkit listrik tenaga nuklir pernah dilakukan oleh Zhou et al. (2014) yang mampu menjerap iod sebanyak 99% dengan konsentrasi iod akhir dibawah 0,5 µg/mL.

Zat pewarna metilen biru merupakan pewarna yang umum digunakan di industri tekstil dengan ukuran molekul 19 nm dan metilen biru memiliki tingkat jerapan yang kuat pada padatan sehingga umum digunakan sebagai model senyawa yang relevan dengan adsorpsi molekul organik dalam bentuk larutan (Ahmad et al. 2007). Pada proses penghilangan zat warna, proses adsorpsi bergantung pada beberapa faktor diantaranya pH larutan,

waktu kontak, suhu, konsentrasi adsorbat dan berat adsorben. Metode adsorpsi dinilai cukup efektif terutama dalam fasa larutan karena mudah dan murah, mampu digunakan pada limbah yang terkontaminasi dengan zat warna yang pekat serta pada umumnya adsorben dapat digunakan kembali dengan jalan regenerasi (Abdel-Gani et al. 2019).

Pada penelitian ini, juga dilihat daya jerap karbon aktif yang dihasilkan terhadap senyawa metilen biru sehingga menghasilkan daya jerap sebesar 10,34-17,64 mg/g dengan daya jerap tertinggi didapat dengan menggunakan adsorben karbon aktif hasil aktivasi KOH. Nilai daya jerap tersebut masih jauh dibawah persyaratan SNI yaitu sebesar 120 mg/g, hal ini dikarenakan belum optimalnya pembukaan pori pada karbon aktif serta adanya abu dan zat pengotor yang menutupi pori karbon aktif (terlihat juga dari hasil mikrograf analisa SEM), terutama pada karbon aktif hasil aktivasi H₃PO₄ yang mengandung kadar abu yang lebih tinggi dibanding karbon aktif lainnya. Senyawa KOH sebagai aktivator dinilai lebih baik dibanding bahan kimia lain karena mampu memperkaya pembentukan gugus OH pada permukaan karbon, memproduksi mikropori lebih banyak (Hui & Zaini 2015), senyawa K₂O yang terbentuk selama aktivasi direduksi menjadi K sehingga membentuk pori pada karbon (Viswanathan et al. 2009).

Adsorpsi metilen biru juga dapat digunakan sebagai parameter penentuan sisi polar dari karbon aktif, makin tinggi nilai adsorpsi maka disinyalir karbon aktif lebih bersifat polar (Marsh & Reinoso 2006). Hasil daya jerap metilen biru ketiga sampel karbon aktif pada penelitian ini masih rendah jika dibanding dengan penelitian Yek et al. (2019) yang

Tabel 1. Luas permukaan dan daya jerap karbon aktif terhadap senyawa iod, metilen biru dan benzene
Table 1. The surface area and adsorption of activated carbon for iodine, methylene blue and benzene

No,	Sampel	Daya jerap iod (mg/g)	Daya jerap metilen biru (mg/g)	Daya jerap benzene(%)	Luas permukaan (m ² /g)
1,	KS	523,05	12,74	19,26	47,25
2,	KK	569,39	17,60	8,09	65,27
3,	KH	355,21	10,34	11,65	38,35
	SNI	750	120		

Keterangan: KS: karbon aktif menggunakan steam; KK: karbon aktif menggunakan KOH; KH: karbon aktif menggunakan H₃PO₄

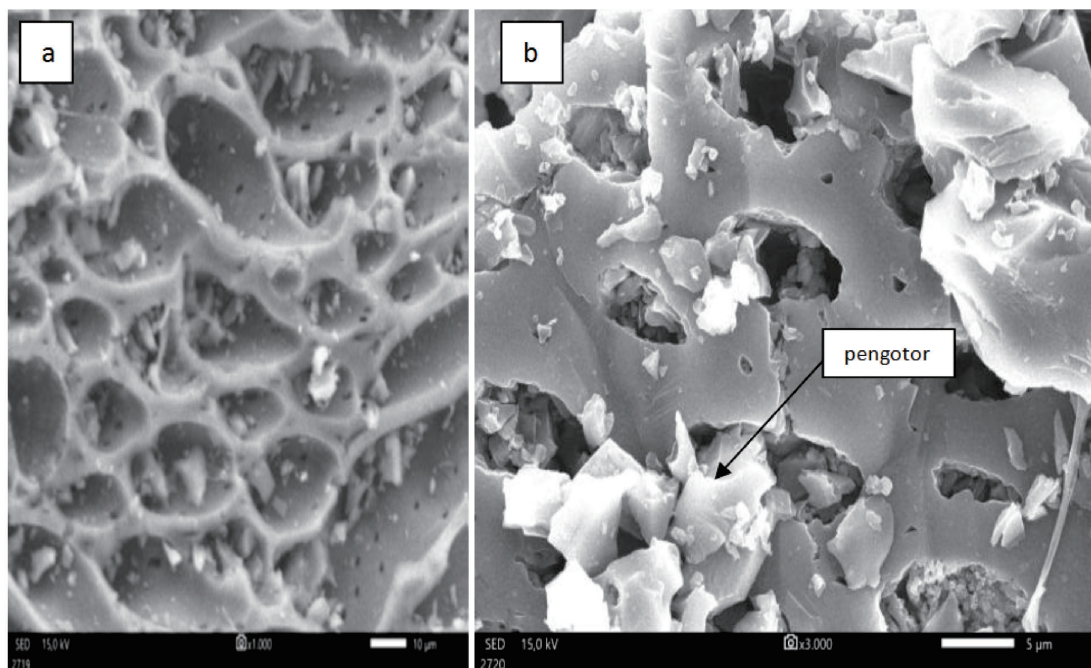
Remark: KS : Activated carbon using steam; KK: activated carbon using KOH; KH: activated carbon using H₃PO₄

membuat karbon aktif dari limbah kelapa sawit dengan daya jerap metilen biru sebesar 38,5 mg/g padahal hanya memiliki kadar karbon terikat sekitar 73% akan tetapi memiliki luas permukaan dan mikropori yang tinggi. Daya jerap metilen biru yang tinggi sekitar 90,9 mg/g juga diperoleh Ahmed et al. (2007) menggunakan karbon aktif kayu sawit, hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan 1084 m²/g dengan luas permukaan mikropori mencapai 931,6 m²/g yang terhitung melalui analisa BET.

Benzena merupakan molekul senyawa organik yang mudah menguap yang banyak digunakan di industri kimia, yang bersifat beracun terhadap kesehatan manusia walaupun pada konsentrasi kecil (Li et al. 2016). Dari gambar 5 terlihat bahwa karbon aktif hasil *steam* memiliki performa paling baik dalam menyerap benzena dengan kadar daya jerap sebesar 19,26% dibanding karbon aktif lainnya. KS memiliki kadar air, abu, zat terbang yang rendah dengan kemurnian karbon yang tinggi, sehingga proses penyerapan terhadap senyawa benzena tidak terganggu oleh air, abu dan zat terbang yang menutupi permukaan karbon aktif. Pophali et al. (2019) mampu menyerap benzena dengan daya jerap hingga 350 mg/g sedangkan Sidgel et al. (2017) 67,13

mg/g menggunakan karbon aktif. Benzena juga merupakan senyawa mudah menguap yang bersifat non-polar sehingga dapat menentukan kemampuan karbon aktif dalam menyerap senyawa bersifat gas. Pada umumnya adsorpsi molekul organik yang mudah menguap pada karbon aktif terjadi melalui adsorpsi fisika yaitu dengan gaya Van Der Waals (Li et al. 2012).

Beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi adsorpsi senyawa organik yang mudah menguap diantaranya adalah ukuran pori, sifat permukaan, polaritas adsorbat dan gugus fungsi permukaan adsorben, karena semakin banyak memiliki ukuran mikropori dengan bentuk yang tajam serta gugus C=O yang sedikit (semakin banyak C=O pada permukaan adsorben, gugus tersebut bersifat penarik e' sehingga mengurangi densitas e' permukaan, maka akan melemahkan ikatan π - π terkonjugasi antara adsorben dan adsorbat) maka akan semakin baik performa adsorpsi terhadap senyawa organik (Zhao et al. 2018). Hal ini juga sejalan dengan Xu et al. (2012) pada aplikasi karbon aktif sebagai katalis pada proses hidroksilasi benzena menjadi fenol sehingga ditemukan bahwa jumlah benzena yang teradsorpsi pada karbon dipengaruhi oleh kandungan total oksigen pada karbon, yaitu dengan bertambahnya



Gambar 5. Morfologi cangkang buah karet (a) dan karbon aktif hasil aktivasi menggunakan KOH (b)
Figure 5. Morphology of rubber fruit shell (a) and activated carbon with KOH activation (b)

kandungan oksigen maka jumlah benzena yang terjerap semakin menurun menyebabkan aktivitas katalis karbon juga akan menurun karena proses adsorpsi pada reaksi menggunakan katalis heterogen berperan sangat penting. Karbon pada umumnya memiliki kandungan gugus fungsi oksigen pada permukaannya, sehingga diperlukan pengurangan konsentrasi oksigen karena akan merusak ikatan π , sistem ikatan $\pi - \pi$ yang kuat akan lebih menguntungkan terhadap adsorpsi benzena pada karbon (Wei et al. 2018) dan kandungan oksigen yang rendah akan lebih baik bagi adsorpsi senyawa organik yang bersifat nonpolar, seperti benzena (Pophali et al.2019).

Gambar 5 merupakan mikrograf dari cangkang buah karet dan karbon aktif hasil aktivasi menggunakan KOH. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bahan baku memiliki bentuk permukaan hampir bulat dengan lubang pori yang sangat kecil, sedangkan pada karbon aktif telah terbentuk pori-pori yang tidak beraturan dan heterogen dengan ukuran 5-9 μm . Pada umumnya, lignin mampu mempertahankan struktur morfologi biomassa karena memiliki kandungan ester dan eter dengan ikatan silang, namun setelah proses impregnasi dan aktivasi dengan KOH, struktur lignin dan dinding sel menjadi hancur sehingga pori yang terbentuk dari karbon aktif tidak memiliki bentuk yang khas atau mirip dengan struktur morfologi bahan baku (Oh et al. 2003).

Pembentukan pori ataupun perluasan pori menjadi pori yang lebih besar diakibatkan oleh berkurangnya pengotor-pengotor pada permukaan karbon (Khan et al. 2018). Karbonisasi juga mendekomposisi material organik dan menghilangkan zat mudah menguap sehingga ada penataan kembali struktur di akhir reaksi (Auta & Hameed 2011). Interaksi antara KOH sebagai agen aktivator dan karbon juga meningkatkan laju reaksi ketika prekursor dipanaskan pada suhu tinggi (800°C) sehingga membentuk perkembangan pori dan pembentukan pori (Ahmad et al. 2014).

Pembentukan mikropori pada umumnya disebabkan adanya akumulasi zat volatil pada partikel dan mengalami perpecahan, kemudian ketika terjadi pemecahan sekunder dengan

bertambahnya suhu reaksi, zat volatil akan terlepas dari partikel dan membentuk karbon yang terdepositasi sehingga menghalangi pembentukan pori yang akan menurunkan luas permukaan mikropori, yang kemudian akan mengakibatkan mikropori pecah dan bergabung menjadi pori yang lebih besar sehingga terjadi peningkatan luas permukaan eksternal pori (Kan et al. 2015; Qiu et al., 2018). Dari hasil morfologi pori karbon aktif juga terlihat bahwa pori masih tertutupi oleh pengotor ataupun senyawa aktivator yang belum sepenuhnya hilang sehingga ketidakaturan pori dan tertutupnya pori tersebut menyebabkan daya jerap karbon aktif tidak maksimal. Teorinya, adsorbat dapat teradsorpsi apabila diameter pori lebih besar dibanding diameter dinamik adsorbat, namun jika berkali-kali lipat terlalu besar kapasitas adsorpsi akan menjadi kecil dan pori hanya sebagai saluran (Li et al. 2012). Hal ini dapat dipahami terutama sebagai contoh pada adsorpsi iod (diameter 10Angstrom=0,001 μm) dan metilen biru (19 nm) dan diameter pori sebesar 5 μm , diameter pori karbon aktif terlalu besar. Hal yang serupa juga terjadi pada adsorpsi benzena, dengan sifat mudah menguap ketika teradsorpsi pada pori yang terlalu besar kemungkinan dapat terjadi proses desorpsi benzena kembali sehingga adsorpsi yang terhitung menjadi kecil.

Dari tabel 1 juga dapat dilihat luas permukaan masing-masing karbon aktif yang berkisar antara 38,35 - 65, 27 m^2/g dengan luas permukaan tertinggi diperoleh dari karbon aktif hasil aktivasi KOH. Dengan tingginya luas permukaan KK, maka dapat dipahami bahwa karbon aktif KK lebih mampu menyerap iod dan senyawa metilen biru. Sehingga secara keseluruhan dari hasil analisa proksimat, maka karbon aktif ketiga sampel memenuhi standar kualitas SNI dengan nilai terbaik didapat dari karbon aktif hasil aktivasi *steam*. Namun jika dilihat dari hasil daya jerap terhadap iod dan metilen biru, maka karbon aktif hasil aktivasi KOH dapat menyerap lebih baik dibanding sampel karbon aktif lainnya. Karbon aktif hasil *steam* lebih dapat menyerap benzena dibanding iod maupun metilen biru sedangkan karbon aktif hasil aktivasi H_3PO_4 menghasilkan daya jerap paling rendah pada ketiga senyawa. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Desi et al. (2019)

yang membuat karbon aktif dengan bahan baku cangkang buah karet menggunakan KOH pada suhu 650°C yang menghasilkan kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, daya jerap iod, daya jerap metilen biru dan daya jerap benzena masing-masing sebesar 1,09%; 3,55%, 30,17%; 66,28%; 201,25 mg/g; 19,26 mg/g dan 13,32%, sedangkan menggunakan H₃PO₄ adalah sebesar 1,50%; 2,45%; 52,72%; 44,82%; 159 mg/g; 19,40% dan 11,98%.

Pada beberapa penelitian menggunakan bahan baku yang lain, ada juga yang mendapatkan karbon aktif hasil aktivasi H₃PO₄ yang memiliki luas permukaan 1040 m²/g dengan total volume pori 1,089 cm³/g yang dapat digunakan sebagai adsorben 1-tryptophan dengan kapasitas 144,93 mg/g (Belhamdi et al. 2019). Pada penelitian Marzbali et al. (2016) juga digunakan karbon aktif dengan aktivator H₃PO₄ (luas permukaan 307,6 m²/g dan mesopori 61,1%) pada adsorpsi *tetracycline* dengan kapasitas adsorpsi 308,33 mg/g namun menggunakan metode perhitungan luas permukaan maupun pori dengan metode BET. Selain digunakan sebagai adsorben, karbon aktif CBK juga dapat digunakan untuk aplikasi lain terutama dengan ukuran pori meso disinyalir memiliki prospek untuk digunakan sebagai katalis pada reaksi pembentukan bioenergi atau untuk superkapasitor (Yang et al. 2014).

Kesimpulan

Pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet dengan tiga jenis aktivator telah berhasil dibuat dan memenuhi standar analisa proksimat karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995. Karbon aktif terbaik didapatkan dengan menggunakan aktivator KOH yang memiliki kualitas kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, daya jerap iod, daya jerap biru metilen daya jerap benzena dan luas permukaan masing-masing sebesar 3,74%; 3,65%; 13,55%; 82,8%; 569,39 mg/g; 17,61 mmol/g; 8,09%; 65,29 m²/g. Karakterisasi karbon aktif menggunakan FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terdeteksi pada karbon aktif adalah gugus OH, CH alifatik, CH aromatik, C=O, C=C, C=C dan C-O, sedangkan kristalinitas karbon aktif berkisar antara 11,34-30,78% dengan ukuran pori hasil analisa SEM sebesar 5-9 µm. Karbon aktif dengan aktivator KOH dapat menyerap senyawa iod dan

metilen biru lebih baik dibanding aktivator uap air dan H₃PO₄ sedangkan karbon aktif yang diaktivasi dengan uap air memiliki daya jerap terbaik untuk adsorpsi senyawa benzena. Secara keseluruhan, hasil Analisa proksimat karbon aktif CBK pada penelitian ini lebih baik dibanding karbon aktif CBK penelitian sebelumnya, namun Analisa daya jerap masih bernilai lebih kecil dibanding bahan baku lain sehingga kedepan diperlukan metode aktivasi yang lebih tepat terutama dalam penggunaan suhu aktivasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (Laboratorium Kimia Terpadu) serta Universitas Nusa Bangsa yang telah membantu menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terselenggara dengan baik.

Daftar Pustaka

- Abdel-Ghani NT, El-Chaghaby GA, Rawash ESA, Lima EC. Magnetic activated carbon nanocomposite from *Nigella sativa* L. waste(MNSA) for the removal of Coomassie brilliant blue dye from aqueous solution: Statistical design of experiments for optimization of the adsorption conditions. *Journal of Advanced Research* 17: 55-63. doi:org/10.1016/j.jare.2018.12.004
- Ahmad AL, Loh MM, Aziz JA. 2007. Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on methylene blue adsorption. *Dyes and Pigments* 7: 263-272. doi:10.1016/j.dyepig.2006.05.034
- Ahmad MA, Puad NAA, Bello OS. 2014. Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of synthetic dye removal using pomegranate peel activated carbon prepared by microwave-induced KOH activation. *Water Resources and Industry* 6: 18-35. doi:org/10.1016/j.wri.2014.06.002
- Autu M, Hameed BH. 2011. Optimized waste tea activated carbon for adsorption of Methylene Blue and Acid Blue 29 dyes using response surface methodology. *Chemical Engineering Journal* 175: 233- 243. doi:10.1016/j.cej.2011.09.100
- Bangun TA, Zaharah TA, Shofiyani A. 2016. Pembuatan arang aktif dari cangkang buah karet untuk adsorpsi ion besi (II) dalam larutan. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(3): 18-24.
- Bansal RC, Goyal M. 2005. *Activated carbon adsorption*. Taylor and Francis Group.
- Belhamdi B, Merzougui Z, Laksaci H, Trari M. 2019. The removal and adsorption mechanisms of free amino acid l-tryptophan from aqueous solution by biomass-based activated carbon by H₃PO₄ activation:

- Regeneration study. Physics and Chemistry of the Earth. doi:10.1016/j.pce.2019.07.004
- Carrari E, Ampoorter E, Bussotti F, Coppi A, Nogales AG, Pollastrini M, Verheyen K, Selvi F. 2018. Effects of charcoal hearth soil on forest regeneration: Evidence from a two-year experiment on tree seedlings. *Forest Ecology and Management* 427: 37-44. doi:org/10.1016/j.foreco.2018.05.038
- Danish M, Ahmad T. 2018. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 1-21. doi:10.1016/j.rser.2018.02.003
- Darmawan S, Syafii W, Wistara NJ, Maddu A, Pari G. 2015. Kajian struktur arang-pirolisis, arang-hidro dan karbon aktif dari kayu Acacia mangium Willd menggunakan difraksi sinar X. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 33(2): 81-92
- Desi, SukaryawanM, Suharma A. 2019. Utilization of Rubber Fruit Shells as Activated Carbon for Color Waste Management of Palembang Songket Crafts. *Proceeding of the International Conference on SMART CITY Innovation 2018*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 248. doi:10.1088/1755-1315/248/1/012035
- Doke KM, Khan EM. 2017. Equilibrium, kinetic and diffusion mechanism of Cr(VI) adsorption onto activated carbon derived from wood apple shell. *Arabian Journal of Chemistry* 10: 252-260. doi:org/10.1016/j.arabjch.2012.07.031
- Elaiyappillai E, Srinivasan R, Johnbosco Y, Devakumar P, Murugesan K, Kesavan K, Johnson PM. 2019. Low cost activated carbon derived from Cucumis melo fruit peel for electrochemical supercapacitor application. *Applied Surface Science* 486:527-538. doi:org/10.1016/j.apsusc.2019.05.004
- Foo KY, Hameed BH. 2012. Porous structure and adsorptive properties of pineapple peel based activated carbons prepared via microwave assisted KOH and K₂CO₃ activation. *Microporous and Mesoporous Materials* 148: 191-1. doi:10.1016/j.micromeso.2011.08.005
- González-García 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:org/10.1016/j.rser.2017.04.117.
- HuiTS, ZainiMAA. 2015. Potassium hydroxide activation of activated carbon: a commentary. *Carbon Letters* 6(4):275-280. doi:10.5714/CL.2015.16.4.275
- Ibeh PO, García-Mateos FJ, Rosas JM, Rodríguez-Mirasol J, Cordero T. 2019. Activated carbon monoliths from lignocellulosic biomass waste for electrochemical applications. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 97:480-488. doi:org/10.1016/j.jtice.2019.02.019
- Im US, Kim J, Lee SH, Lee SM, Lee BR, Peck DH, Jung DH. 2018. Preparation of activated carbon from needle coke via two-stage steam activation Process. *Materials Letters* 237: 22-25. doi:10.1016/j.matlet.2018.09.171
- Inbaraj BS, Sulochana N. 2006. Mercury adsorption on a carbon sorbent derived from fruit shell of *Terminalia catappa*. *Journal of Hazardous Materials B* 133: 283-290. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.10.025
- Jaria G, Calisto V, Silva CP, Gil MV, OteroM, Esteves VI. 2019. Obtaining granular activated carbon from paper mill sludge - A challenge for application in the removal of pharmaceuticals from waste water. *Science of the Total Environment* 653: 393-400. doi:org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.346
- Juwita AI, Ahmad I, Bujawati E, Basri S. 2018. Efektifitas penggunaan arang limbah Kulit Kakao (*Theobroma cacao L.*) untuk menurunkan kesadahan, salinitas dan senyawa organik air. *Higiene* 4(1).
- Kan Y, Yue Q, Gao B, Li Q. Preparation of epoxy resin-based activated carbons from waste printed circuit boards by steam activation. *Materials Letters* 159: 443-446. doi:org/10.1016/j.matlet.2015.07.053
- Kemenperin. 2017. Impor karbon aktif. https://kemenperin.go.id/statistik/query_komoditi.php?komoditi=activated+carbon&negara=&jenis=i&action=Tampilkan. Diakses September 2019.
- Kemenperin. 2017. Ekspor karbon aktif https://kemenperin.go.id/statistik/query_komoditi.php?komoditi=activated+carbon&negara=&jenis=e&action=Tampilkan. Diakses September 2019.
- Kemenperin. 2017. Impor karet https://kemenperin.go.id/statistik/query_komoditi.php?komoditi=rubber+latex&negara=&jenis=i&action=Tampilkan. Diakses September 2019.
- Khan EA, Shahjahan, Khan TA. 2018. Adsorption of methyl red on activated carbon derived from custard apple (*Annona squamosa*) fruit shell: Equilibrium isotherm and kinetic studies. *Journal of Molecular Liquids* 249:1195-1211. doi:org/10.1016/j.molliq.2017.11.125
- Kumar V, Tyagi PK. 2018. Potential application of multi-walled carbon nanotubes/activated carbon/bamboo charcoal for efficient alcohol sensing. *Journal of Alloys and Compounds* 767: 215-222. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.06.123.
- KumarVB, Pulidindi IN, Gedanken A. 2015. Selective conversion of starch to glucose using carbon based solid acid Catalyst. *Renewable Energy* 78:141-145. doi: 10.1016/j.renene.2014.12.070
- Lam SS, Liew RK, Cheng CK, Rasit N, Ooi CK, Ma NL, Ng JH, Lam WH, Chong CT, Chase HA. 2018. Pyrolysis production of fruit peel biochar for potential use in treatment of palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Management* 213: 400-408. doi:org/10.1016/j.jenvman.2018.02.092
- Liew RK, Azwar E, Yek PNY, Lim XY, Cheng CK, Ng JH, Jusoh A, Lam WH, Ibrahim MD, Ma NL, Lam SS. Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: A new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption. *Bioresource Technology* 266: 1-10. doi:org/10.1016/j.biortech.2018.06.051

- Li MS, Wu SC, Peng YH, Shih YH. 2016. Adsorption of volatile organic vapors by activated carbon derived from rice husk under various humidity conditions and its statistical evaluation by linear solvation energy relationships. *Separation and Purification Technology* 170: 102–108. doi:10.1016/j.seppur.2016.06.029
- Li L, Sun Z, Li H, Keener TC. 2012. Effects of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds. *Journal of the Air & Waste Management Association* 62(10), 1196–1202. doi: 10.1080/10962247.2012.70063:
- Marzbali MH, Esmaili M, Abolghasemi H, Marzbali, MH, 2016. Tetracycline adsorption by H₃PO₄-activated carbon produced from apricot nut shells: A batch study, *Process Safety and Environment Protection* 102: 700–709. doi:org/10.1016/j.psep.2016.05.025
- Meilianti. 2017. Karakteristik karbon aktif dari cangkang buah karet menggunakan aktivator H₃PO₄. *Distilasi* 2(2):1-9
- Mohammed J, Nasri NS, Zaini MAA, Hamza UD, Ani FN. Adsorption of benzene and toluene onto KOH activated coconut shell based carbon treated with NH₃. *International Biodeterioration & Biodegradation* 102: 245–255. doi:org/10.1016/j.ibiod.2015.02.012
- Oginni O, Singh K, Oporto G, Dawson-Andoha B, McDonald L, Sabolsky E. 2019. Influence of one-step and two-step KOH activation on activated carbon Characteristics. *Bioresource Technology Reports* 7: 1–10. doi:10.1016/j.biteb.2019.100266
- Oh GH, Yun CH, Park CR. 2003. Role of KOH in the One-Stage KOH Activation of Cellulosic Biomass. *Carbon Science* 4(4): 180–184
- Pari G, Buchari, Sulaeman A. 1996. Pembuatan dan kualitas arang aktif dari kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) sebagai bahan adsorben. *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 14(7): 274 - 289
- Peng X, Shen S, Wang C, Li T, Li Y, Yuan S, Wen X. 2017. Influence of relative proportions of cellulose and lignin on carbon-based solid acid for cellulose hydrolysis. *Molecular Catalysis* 442: 133–139. doi:10.1016/j.mcat.2017.09.012
- Pereira BLC, Carneiro ACO, Carvalho AMML, Colodette JL, Oliveira AC, Fontes MPF. 2013. Influence of chemical of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. *Wood chemistry & charcoal, BioResources* 8(3): 4574–4592. https://doi.org/10.15376/biores.8.3.4574-4592
- Poletto M, Zattera AD, Forte MMC, Santana RMC. 2012. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. *Bioresource Technology* 109: 148–153. https://doi.org/ 10.1016/j.biortech.2011.11.122
- Pophali A, Lee KM, Zhang L, Chuang YC, Ehm L, Cuiffo MA, Halada GP, Rafailovich M, Verma N, Kim T.. 2019. First synthesis of poly(furfuryl) alcohol precursor-based porous carbon beads as an efficient adsorbent for volatile organic compounds. *Chemical Engineering Journal* 373: 365–374. doi:10.1016/j.cej.2019.05.029
- Prahas D, Kartika Y, Indraswati N, Ismadji S. 2008. Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. *Chemical Engineering Journal* 140: 32–42. doi:10.1016/j.cej.2007.08.032
- Rai MK, Shahi G, Meena V, Meena R, Chakraborty S, Singh RS, Rai BN. 2016. Removal of hexavalent chromium Cr (VI) using activated carbon prepared from mango kernel activated with H₃PO₄. *Resource-Efficient Technologies* 2: S63–S70
- Ramayana, D, Royani, I, Arsyad, FS. Pembuatan *carbon black* berbasis nanoserbuk tempurung biji karet menggunakan *high energy milling*. *Jurnal MIPA* 40 (1): 28-32
- Rattanapan S, Srikram, J, Kongsune P. 2017. Adsorption of methyl orange on coffee grounds activated carbon. *Energy Procedia* 138: 949–954. doi:10.1016/j.egypro.2017.10.064
- Rosalina T, Tedja E, Riani, Sugiarti S. 2016. Pengaruh aktivasi fisika dan kimia arang aktif buah bintang terhadap daya jerap logam berat krom. *Jurnal Bioteknologi Proses Pangan dan Lingkungan Industri* 7 (1): 35-45
- Salleh Z, Islam MM, Yusop MYM, Idrus MAMM. 2014. Mechanical Properties of Activated Carbon (AC) Coconut Shell Reinforced Polypropylene Composites Encapsulated with Epoxy Resin. *Asia-Pacific Chemical, Biological & Environmental Engineering Society Procedia* 9: 92 – 96. doi: 10.1016/j.apcbee.2014.01.017
- Selvaraju G, Bakar NKA. 2018. Process conditions for the manufacture of highly micro-mesoporous eco-friendly activated carbon from *artocarpus integer* bio-waste by steam activation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 1–13. doi:10.1016/j.jtice.2018.08.011
- Shamsuddin MS, Yusoff NRN, Sulaiman MA. 2016. Synthesis and characterization of activated carbon produced from kenaf core fiber using H₃PO₄ activation. *Procedia Chemistry* 19: 558 – 565. doi: 10.1016/j.proche.2016.03.053
- Shen F, Guo T, Bai C, Qiu M, Qi X. 2018. Hydrolysis of cellulose with one-pot synthesized sulfonated carbonaceous solid acid. *Fuel Processing Technology* 169: 244–247. doi:10.1016/j.fuproc.2017.10.015
- Sigdel A, Jung W, Min B, Lee M, Choi U, Timmes T, Kim SJ, Kang CU, Kumar R, Jeon BH. 2017. Concurrent removal of cadmium and benzene from aqueous solution by powdered activated carbon impregnated alginate beads. *Catena* 148: 101–107. doi:10.1016/j.catena.2016.06.029
- Suriyachai N, Champreda V, Sakdaronnarong C, Shotipruk A, Laosiripojana N. 2017. Sequential organosolv fractionation/hydrolysis of sugarcane bagasse: The coupling use of heterogeneous H₃PO₄-Activated carbon as acid promoter and hydrolysis catalyst. *Renewable Energy* 113: 1141–1148. doi: 10.1016/j.renene.2017.06.003
- Vinsiah R, Suharman A, Desi. 2015. Pembuatan karbon aktif dari cangkang kulit buah karet (*Hevea brasiliensis*). Palembang, Universitas Sriwijaya
- Viswanathan B, Neel PI, Varadarajan TK. 2009. Methods of activation and specific applications of carbon

- materials. National Centre for Catalysis Research, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India.
- Wei Q, Fan H, Qin F, Ma Q, Shen W. 2018. Metal-free honeycomb-like porous carbon as catalyst for direct oxidation of benzene to phenol. *Carbon* 133: 6-13. doi:10.1016/j.carbon.2018.03.009
- Wibowo S, Syafi W, Pari G. 2011. Karakterisasi permukaan arang aktif tempurung biji nyamplung. *Makara Teknologi* 15(1): 17-24.
- Wibowo S, Syafi W, Pari G. 2011. Karakteristik arang aktif tempurung biji nyamplung (*Callophyllum innophyllum* Linn). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 28(1): 43-54.
- Xia X, Jianga S, Zhang W, Wang K, Shao H, Wu Z. 2019. An experimental study on the effect of ionic liquids on the structure and wetting characteristics of coal. *Fuel* 244: 176-183. doi:10.1016/j.fuel.2019.01.183
- Xu J, Liu H, Yang R, Li G, Hu C. 2012. Hydroxylation of benzene by activated carbon catalyst. *Chinese Journal Of Catalysis* 33(10): 1622-1630. doi: 10.1016/s1872-2067(11)60444-0
- Yang CS, Jang YS, Jeong HK. 2014. Bamboo-based activated carbon for supercapacitor applications. *Current Applied Physics* 14(12): 1616-1620. doi: 10.1016/j.cap.2014.09.021.
- Yek, PNY, Liew RK, Osman MS, Lee CL, Chuah JH, Park YK, Lam SS. 2019. Microwave steam activation, an innovative pyrolysis approach to convert waste palm shell into highly microporous activated carbon. *Journal of Environmental Management* 236: 245-253. doi:10.1016/j.jenvman.2019.01.010
- Zhou J, Hao S, Gao L, Zhang Y. 2014. Study on adsorption performance of coal based activated carbon to radioactive iodine and stable iodine. *Annals of Nuclear Energy* 72: 237-241. doi:10.1016/j.anucene.2014.05.028
- Zhao X, Zeng X, Qin Y, Li X, Zhu T, Tang X. 2018. An experimental and theoretical study of the adsorption removal of toluene and chlorobenzene on coconut shell derived carbon. *Chemosphere* 206: 285-292. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.126
- Zulfadhli M, Iriany. 2017. Pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) dengan aktivator H₃PO₄ DAN aplikasinya sebagai penjerap Cr(VI). *Jurnal Teknik Kimia USU* 6(1): 23-28