

KINERJA KARBON AKTIF DARI KULIT SINGKONG DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI FOSFAT PADA AIR LIMBAH LAUNDRY

PERFORMANCE OF ACTIVATED CARBON FROM CASSAVA PEEL IN REDUCING PHOSPHATE CONCENTRATION IN LAUNDRY LIQUID WASTE

Illah Sailah*, Fitri Mulyaningsih, Andes Ismayana, Tyara Puspaningrum,
Anis Annisa Adnan, Nastiti Siswi Indrasti

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga PO Box 220, Bogor 16002
E-mail: illahsailah@apps.ipb.ac.id,

Makalah: Diterima 1 Juni 2020; Diperbaiki 30 Juli 2020; Disetujui 10 Agustus 2020

ABSTRACT

Cassava peel has high carbon content. It becomes potential as an adsorbent in adsorbing laundry phosphate compounds. Utilization of cassava peel into activated charcoal is an effort to reduce waste from the cassava processing industries. This study used two types of activated carbon from cassava peel, i.e. acid activated charcoal using HCl 0.4 M and alkaline activated charcoal using KOH 0.4 M. The objectives of this research were to determine: (1) the optimum contact time of adsorption at 30, 60, 90, 120, 150, and 180 min treatment time; (2) the optimum pH value of adsorption at pH 4, 6, 8, and 10; and (3) the adsorption capacity using adsorbent concentration treatment of 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, and 2.5% (w/v). The experimental design used was a Single Factor Randomized Block Trial Design, ANOVA-DNMR statistical analysis, and linear graphic for descriptive analysis. The analysis of the activated charcoal showed that water contents of the acid activated charcoal and the alkaline activated charcoal were 3.49% and 2.89%, respectively; the ash contents were 6.78% and 9.03%, respectively. The water content and ash content meet the standard of SNI 06-3730-1995. The performance test showed that the optimum contact time and pH of acid activated charcoal were 30 min and pH 4, while the alkaline activated charcoal was 90 min and pH 6. The adsorption capacity of acid active charcoal was 0.26 mg/g and the adsorption capacity of alkaline active charcoal was 0.49 mg/g. Activated carbon from the cassava skin can be used as an adsorbent to reduce phosphate concentrations in laundry waste.

Keywords: activated charcoal, adsorption, cassava peel, laundry waste, phosphate

ABSTRAK

Kulit singkong memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben dalam bentuk karbon aktif untuk mengadsorpsi senyawa fosfat pada limbah laundry. Pemanfaatan kulit singkong menjadi karbon aktif merupakan upaya untuk mengurangi limbah dari industri pengolahan singkong. Penelitian ini menggunakan dua jenis karbon aktif kulit singkong, yaitu karbon aktif yang diaktivasi asam HCl 0,4 M dan karbon aktif yang diaktivasi basa KOH 0,4 M. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan: (1) lama waktu kontak optimum adsorpsi pada perlakuan waktu 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit; (2) nilai pH optimum adsorpsi pada pH 4, 6, 8, dan 10; serta (3) kapasitas adsorpsi menggunakan perlakuan konsentrasi adsorben 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% (b/v). Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Percobaan Acak Kelompok Faktor Tunggal, analisis statistika ANOVA-DNMR, dan analisis deskriptif garis linear. Hasil analisis karbon aktif menunjukkan kadar air karbon aktif teraktivasi asam sebesar 3,49% dan karbon aktif teraktivasi basa 2,89% serta kadar abu masing-masing sebesar 6,78% dan 9,03%. Kadar air dan kadar abu tersebut memenuhi baku mutu SNI 06-3730-1995. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa waktu kontak dan pH optimum karbon aktif asam yaitu 30 menit dan pH 4 sedangkan karbon aktif basa yaitu 90 menit dan pH 6. Kapasitas hasil adsorpsi karbon aktif asam mampu mengadsorpsi senyawa fosfat 0,26 mg/g, sedangkan karbon aktif basa memiliki kapasitas adsorpsi sebanyak 0,49 mg/g. Karbon aktif dari kulit singkong dapat diaplikasikan sebagai adsorben untuk menurunkan konsentrasi fosfat pada limbah usaha laundry.

Kata kunci: adsorpsi, fosfat, karbon aktif, kulit singkong, limbah laundry

PENDAHULUAN

Singkong atau ubi kayu merupakan salah satu bahan pangan pengganti beras yang cukup penting peranannya dalam menopang ketahanan pangan suatu wilayah. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2016), luas panen ubi kayu di Indonesia pada tahun

2015 seluas 0,95 juta hektar dan produksi yang dicapai sebesar 21,80 juta ton dengan produktivitas sebesar 22,95 ton/ha. Industri singkong saat ini semakin berkembang, terutama industri kecil menengah yang mengolah tepung singkong maupun tapioka. Semakin berkembangnya industri maka semakin besar potensi limbah yang dihasilkan.

Sebagian besar industri kecil belum melakukan pengelolaan limbah dengan optimal. Salah satu bagian limbah padat industri singkong yang banyak dihasilkan yaitu kulit singkong. Persentase kulit singkong bagian dalam dapat mencapai 15% dari berat total singkong (Permatasari *et al.*, 2014). Dengan demikian, jumlah kulit singkong dapat mencapai 3,27 ton per tahun.

Pemanfaatan limbah kulit singkong selama ini masih belum optimal, umumnya sebagai pakan ternak, pupuk organik, dan bahan makanan olahan (Utomo *et al.*, 2014). Kulit singkong mengandung 59,31% C; 9,78% H; 28,74% O; 2,06 % N; 0,11% S, 0,3% Ash dan 11,4% H₂O (Ikawati dan Melati, 2009). Kulit singkong mengandung karbohidrat yang tinggi, mengindikasikan bahwa bahan tersebut juga memiliki kandungan unsur karbon yang tinggi (Utomo *et al.*, 2014). Tingginya kandungan karbon dalam kulit singkong berpotensi untuk diolah menjadi adsorben berupa karbon aktif yang memiliki nilai tambah dan pemanfaatan lebih luas. Adsorben dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair industri. Selain itu pemanfaatan kulit singkong menjadi adsorben juga merupakan upaya pengurangan limbah padat pada industri pengolahan singkong.

Limbah kulit singkong dapat dimanfaatkan sebagai alternatif adsorben. Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben biasanya menggunakan bahan-bahan yang memiliki pori-pori sehingga proses adsorpsi terjadi di pori-pori dalam partikel tersebut. Karbon aktif merupakan salah satu bahan berpori yang mengandung 85-95% karbon dengan luas permukaan besar yang terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen (Permatasari *et al.*, 2014). Perlu dilakukan suatu upaya untuk mengaktivasi karbon pada biomassa kulit singkong sehingga diperoleh biomassa yang lebih aktif sebagai adsorben. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode karbonisasi teraktivasi menjadi karbon aktif.

Proses aktivasi bertujuan untuk memperbesar pori pada karbon. Aktivasi karbon dapat dilakukan secara kimiawi dengan aktivator umumnya berupa ZnCl₂, KOH, NaCl, H₃PO₄, H₂S dan H₂SO₄ (Sembiring dan Sinaga, 2003; Ikawati dan Melati, 2009). Pada penelitian ini digunakan dua jenis aktivator, yaitu HCl sebagai aktivator asam, dan KOH sebagai aktivator basa. Proses aktivasi karbon kulit singkong menggunakan HCl 0,4 M dan KOH 0,4 M dapat melarutkan tar dan mineral anorganik. Larutan asam sebagai aktivator dapat melarutkan komponen tar, garam Ca dan Mg dengan lebih baik (Anwar *et al.*, 2016). Hilangnya zat tersebut menyebabkan terbentuknya pori-pori yang terbuka di permukaan adsorben menjadi lebih besar dari sebelumnya sehingga dapat meningkatkan luas permukaan adsorpsi karbon aktif (Alfiyani *et al.*, 2013).

Setiap adsorben memiliki karakteristik yang berbeda dalam proses adsorpsi, sehingga kondisi

yang dibutuhkan untuk adsorpsi juga berbeda. Berdasarkan hasil penelitian Abdullah *et al.* (2013) besarnya pH limbah dan lama waktu kontak berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan adsorpsi. Kondisi pH larutan mempengaruhi terbentuknya jenis ion adsorben dan gugus fungsi permukaan adsorben, yang mempengaruhi proses adsorpsi. Sedangkan lama waktu kontak karbon aktif menentukan terjadinya kesetimbangan adsorpsi yang mampu dicapai adsorben (Syauqiah *et al.*, 2011). Kulit singkong menghasilkan karbon yang lunak dan cocok untuk menjernihkan air atau membantu proses adsorpsi air limbah (Maulinda *et al.*, 2015). Adsorpsi merupakan proses fisik atau kimia dimana senyawa berakumulasi di permukaan (*interface*) antar dua fase.

Meningkatnya jumlah usaha pencucian pakaian (*laundry*) mengakibatkan meningkatnya volume air limbah yang dihasilkan. Selama ini, hampir semua industri *laundry* langsung membuang limbahnya ke saluran drainase atau badan air tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Hal tersebut tentu menjadi penyebab pencemaran air karena limbah *laundry* mengandung senyawa fosfat yang dapat memicu terjadinya eutrofikasi. Industri *laundry* menghasilkan limbah cair yang mengandung senyawa fosfat tinggi melebihi kadar fosfat yang diizinkan yaitu 0,2 mg/L (PP No 82 tahun 2001). Kadar fosfat yang tinggi berasal dari *Sodium Tripoly Phosphate* (STPP) yang merupakan salah satu bahan dalam deterjen (Mu'in *et al.*, 2017).

Karbon aktif memiliki kemampuan mengadsorpsi senyawa organik maupun anorganik yang dapat diaplikasikan pada penurunan konsentrasi senyawa fosfat secara selektif (Majid *et al.*, 2017). Pemanfaatan karbon aktif kulit singkong sebagai adsorben untuk penurunan senyawa *phosphate* usaha *laundry* merupakan salah satu alternatif produksi bersih pada industri pengolahan singkong. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji kinerja adsorpsi karbon aktif kulit singkong yang diaplikasikan pada senyawa fosfat limbah *laundry*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu kontak optimum adsorpsi, menentukan nilai pH optimum adsorpsi, dan menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif dari kulit singkong dalam menurunkan konsentrasi senyawa fosfat dari limbah *laundry*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya kulit singkong dari singkong berumur 10-12 bulan yang berasal dari salah satu UKM tepung mocaf di Bogor, limbah cair *laundry*, KH₂PO₄ p.a, SnCl₂, molibdat, akuades, gliserol, HCl 0,5 N, NaOH 0,5 N, KOH 0,4 M, kertas saring Whatman 42, kertas pH, dan H₂SO₄. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan gelas, pH meter, tanur, penangas, ayakan 100 mesh, *magnetic stirrer*, *vacuum filter*, dan spektrofotometer Hach.

Metode

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan proses, yaitu pembuatan karbon aktif dari kulit singkong, penentuan kondisi optimum kinerja karbon aktif pada senyawa fosfat artifisial, dan Aplikasi karbon aktif pada senyawa fosfat limbah laundry. Proses pembuatan karbon aktif dari kulit singkong mengacu pada metode penelitian Suprabawati *et al.* (2018) dengan modifikasi. Secara umum pembuatan karbon aktif melalui tahapan dehidrasi, karbonisasi kemudian dilanjutkan dengan aktivasi menghasilkan karbon aktif (Utomo, 2014). Proses pertama dilakukan pembuatan karbon aktif terlebih dahulu menggunakan metode karbonisasi pada suhu 500°C selama 1 jam. Karbon yang terbentuk akan dihaluskan dan diaktivasi menggunakan dua perlakuan aktivator HCl 0,4 M dan KOH 0,4 M.

Adsorben yang sudah dibuat akan diaplikasikan pada limbah artifisial fosfat untuk menentukan kondisi optimum pada perlakuan waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit, kemudian ditentukan pH larutan adsorbat terbaik pada variasi pH 4, 6, 8, dan 10. Setelah kondisi optimum didapat, dilakukan uji aplikasi pada limbah laundry menggunakan kondisi optimum dengan perlakuan penambahan massa adsorben 0,5%; 1%; 1,5%; 2%; 2,5% (b/v). Filtrat hasil perlakuan dianalisis untuk diketahui penurunan konsentrasi fosfat yang terjadi. Penelitian ini menggunakan Rancangan Percobaan Acak Kelompok Faktor Tunggal, analisis ragam ANOVA-DNMR, dan analisis deskriptif garis linear. Pengolahan data statistik dilakukan menggunakan *software* SPSS versi 24. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

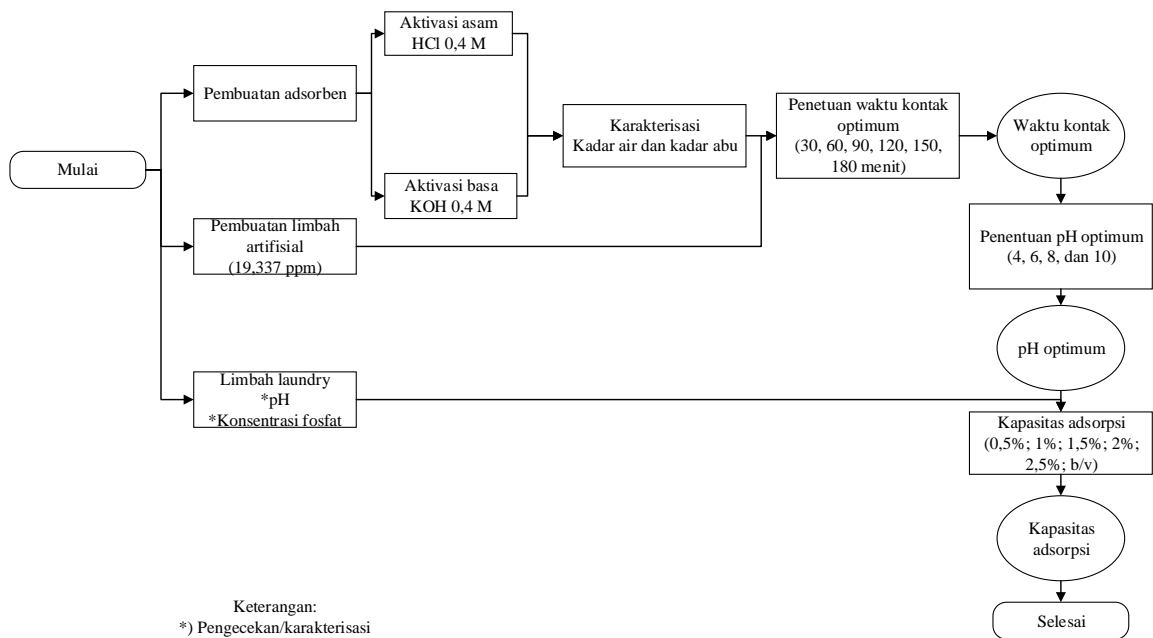
Pembuatan Karbon Aktif Kulit Singkong (Suprabawati et al., 2018 dengan modifikasi)

Karbonisasi Kulit Singkong Menjadi Karbon

Kulit singkong yang berwarna putih bersih dipotong sebesar 3-5 cm, dikeringkan dalam oven blower pada suhu 70°C selama 24 jam sampai kadar air kurang dari 10%. Sampel diuapkan di atas penangas sampai asap tipis tidak terlihat. Tahap ini merupakan dehidrasi untuk menguapkan kandungan air. Dehidrasi bukan hanya menghilangkan kandungan air tetapi juga inert yang volatile seperti HCN (Utomo, 2014). Penguapan di atas penangas bertujuan untuk menghindari terjadinya kebakaran. Kulit singkong tersebut dikarbonisasi di dalam tanur pada suhu 500°C selama 1 jam. Karbon dihaluskan dengan blender dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Aktivasi Karbon Kulit Singkong

Karbon yang berasal dari pembuatan karbon di poin (1) diaktivasi menggunakan dua perlakuan jenis aktivator yaitu asam HCl 0,4 M atau basa KOH 0,4 M dengan perbandingan 1:3. Sampel dihomogenisasi menggunakan magnetic stirrer pada suhu 80°C selama 1 jam. Sampel direndam selama 24 jam. Pasta karbon yang terbentuk dipisahkan dari larutannya menggunakan vacuum filter dengan kertas saring Whatman 42. Sampel dicuci menggunakan akuades dengan sedikit penambahan HCl 0,5 N dan NaOH 0,5 N sampai pH mencapai 6,5-7. Karbon yang sudah teraktivasi dikeringkan dalam oven suhu 110°C selama 2 jam. Sampel didinginkan dalam desikator dan dikemas.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

Analisis kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis atau afinitas dari karbon aktif, yang memungkinkannya digunakan sebagai adsorben. Analisis kadar abu bertujuan untuk mengetahui keberadaan abu pada karbon aktif yang mempengaruhi kualitas karbon aktif.

Penentuan Kondisi Optimum Kinerja Karbon Aktif Pada Senyawa Fosfat Artifisial

Preparasi Limbah Fosfat Artifisial

Limbah artifisial berupa larutan fosfat dengan konsentrasi 19,3 ppm, mengacu pada penelitian Aselfa (2019) yang menguji limbah laundry dengan rata-rata kadar fosfat 19-20 ppm. Dasar pertimbangan konsentrasi larutan fosfat artifisial yaitu berdasarkan SNI 06698931- 2005 untuk membuat kurva standar untuk analisis uji menggunakan spektrofotometer. Sebanyak 40 mL larutan KH_2PO_4 dengan konsentrasi 500 mg/L dituangkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Kemudian akuades ditambahkan ke dalam labu sampai tanda tera. Selanjutnya larutan diukur keasamannya menggunakan pH meter dan konsentrasi fosfat yang terkandung menggunakan spektrofotometer Hach.

Uji Penentuan Lama Waktu Kontak

Limbah fosfat artifisial dituangkan ke dalam 6 buah gelas piala ukuran 250 mL yang sudah diberi label, masing-masing sebanyak 100 mL, lalu ditambah karbon aktif sebanyak 1 g. Campuran diaduk konstan dengan kecepatan 100 rpm selama 10 menit menggunakan magnetic stirrer, kemudian diberikan perlakuan waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit dengan dua kali pengulangan. Filtrat disaring menggunakan vacuum filter dan kertas Whatman nomor 42. Selanjutnya dilakukan analisis senyawa fosfat pada filtrat.

Uji Penentuan pH Optimum

Sebanyak 4 buah gelas piala ukuran 250 mL yang sudah diberi label disiapkan untuk ditambah limbah fosfat artifisial sebanyak masing-masing 100 mL, kemudian diatur pH menjadi 2, 4, 6, dan 8. Selanjutnya masing-masing larutan ditambahkan karbon aktif sebanyak 1 g. Setelah itu, larutan diaduk konstan pada kecepatan 100 rpm selama 10 menit menggunakan magnetic stirrer, kemudian didiamkan selama waktu optimum yang didapat dari penelitian sebelumnya. Filtrat dipisahkan menggunakan penyaringan vacuum filter dan kertas Whatman nomor 42 untuk analisis senyawa fosfat pada filtrat. Percobaan dilakukan dengan tiga kali ulangan.

Aplikasi Karbon Aktif pada Senyawa Fosfat Limbah Laundry

Preparasi Limbah Laundry

Air limbah laundry diambil dari tempat jasa cuci pakaian XYZ di Bogor sebanyak 7 L. Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 9 dengan

keterangan bahwa pada jam tersebut adalah waktu aktif mencuci. Limbah laundry dilakukan penyaringan awal menggunakan kertas saring untuk memisahkan limbah dari padatan. Karakterisasi air limbah dilakukan guna mengetahui kadar fosfat dan pH pada kondisi awal. Analisis kadar fosfat dilakukan dengan metode APHA ed. 21th 4500-P 2005.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Singkong

Gelas piala ukuran 250 mL yang sudah diberi label diisi limbah laundry yang telah diketahui konsentrasi fosfatnya sebanyak 100 mL. Pengaturan pH limbah dilakukan sesuai pH optimum. Masing-masing larutan ditambahkan karbon aktif dengan variasi 0,5%; 1%; 1,5%; 2%; dan 2,5% (b/v). Larutan diaduk konstan dengan kecepatan 100 rpm selama 10 menit menggunakan magnetic stirrer, lalu didiamkan selama waktu optimum yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Filtrat dipisahkan menggunakan penyaringan vacuum filter dan kertas Whatman nomor 42 untuk dianalisis senyawa fosfatnya berdasarkan metode APHA 2005.

Kapasitas adsorpsi dapat ditentukan melalui grafik linear hubungan konsentrasi fosfat yang teradsorpsi (mg/L) dan masa adsorben (g). Berdasarkan persamaan garis linear, diperoleh slope garis yang menunjukkan besarnya kapasitas adsorpsi karbon aktifkulit singkong terhadap penyerapan fosfat (mg/g). Efisiensi adsorpsi dihitung berdasarkan persamaan berikut (Estiaty, 2013):

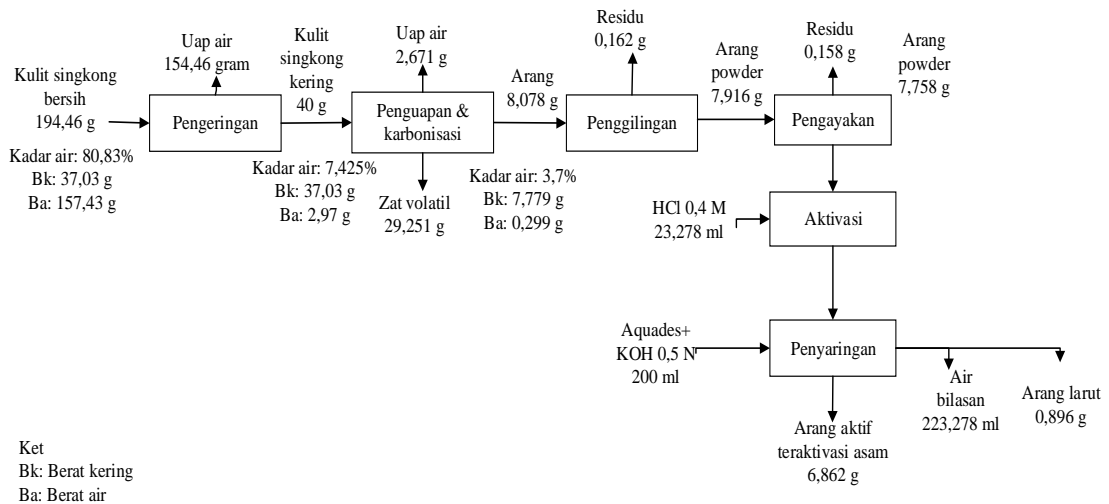
$$\text{Efisiensi adsorpsi (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

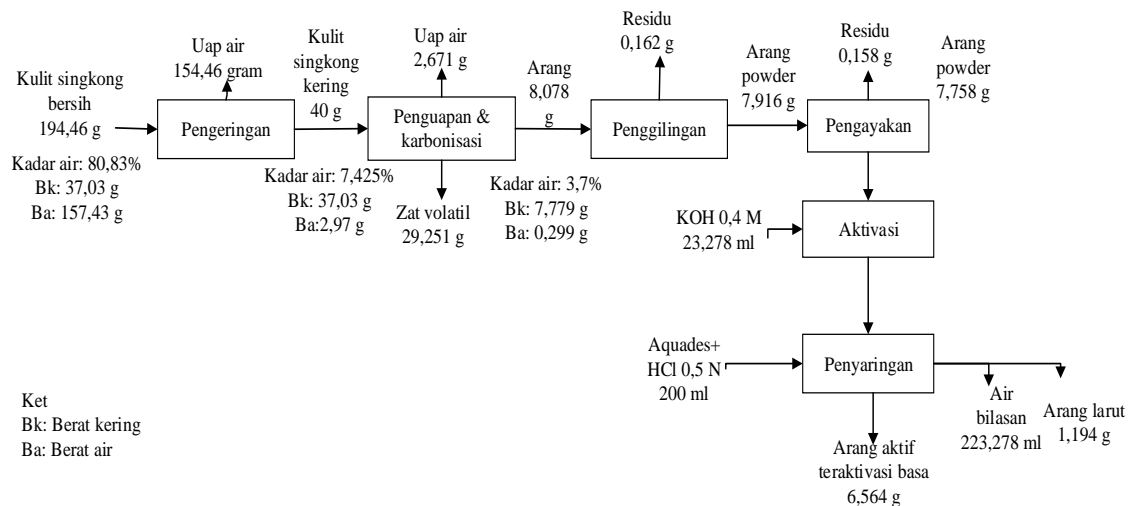
Neraca Massa Karbon Aktif Kulit Singkong

Proses pembuatan karbon aktif mencakup dua tahapan utama, yakni proses karbonisasi bahan baku dan proses aktivasi bahan terkarbonisasi tersebut pada suhu lebih tinggi. Perhitungan neraca massa dilakukan untuk mengetahui rendemen produk. Penetapan rendemen karbon aktif bertujuan untuk mengetahui jumlah karbon aktif yang dihasilkan dari proses karbonisasi dan aktivasi. Pada penelitian ini, kadar air bahan atau kulit singkong mencapai 77,99-80,95%. Neraca massa pembuatan karbon aktif kulit singkong teraktivasi asam dan teraktivasi basa dapat dilihat masing-masing pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Hasil menunjukkan bahwa rendemen karbon aktif dari kulit singkong yang teraktivasi asam sebesar 3,53% sedangkan rendemen karbon aktif dari kulit singkong teraktivasi basa sebesar 3,38%. Rendemen yang kecil pada pembuatan karbon aktif kulit singkong dipengaruhi oleh tingginya kadar air dalam bahan kulit singkong. Kehilangan bobot terbesar terjadi pada proses pengeringan dan karbonisasi.



Gambar 2. Neraca massa pembuatan karbon aktif kulit singkong teraktivasi asam



Gambar 3. Neraca massa pembuatan karbon aktif kulit singkong teraktivasi basa

Penggunaan suhu yang tinggi dalam proses karbonisasi menyebabkan menguapnya air dan senyawa volatil bahan sehingga mengalami penyusutan bobot. Teori kinetika menyebutkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka laju reaksi akan bertambah cepat.

Peningkatan suhu akan mempercepat laju reaksi antara karbon dan uap air sehingga banyak karbon yang terkonversi menjadi H₂O dan CO₂ dan semakin sedikit karbon yang tersisa (Maulinda *et al.*, 2015). Selain itu, penggunaan suhu yang terlalu tinggi saat karbonisasi dapat menyebabkan terbentuknya produk abu. Oleh karena itu, penggunaan suhu saat karbonisasi yang tepat pada jenis bahan tertentu perlu dilakukan.

Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong

Karakteristik adsorben dilakukan dengan uji kadar air dan kadar abu. Kandungan karbon arang aktif dari kulit singkong yang diaktivasi menggunakan KOH yaitu 49,839% (Permatasari *et al.*, 2014). Perhitungan kadar air bertujuan

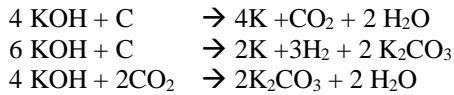
mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif. Terikatnya molekul air pada karbon oleh aktivator menyebabkan perluasan pori-pori pada permukaan karbon aktif. Aktivasi karbon akan bereaksi dengan KOH sehingga karbon akan terkikis membentuk lubang atau pori-pori. Pembentukan pori-pori akan memperluas permukaan arang sehingga memperbesar efisiensi adsorbsinya (Erlina *et al.*, 2015). Besarnya ukuran pori-pori mengakibatkan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif (Laos dan Selan, 2016). Data hasil pengujian kadar air dan kadar abu dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil uji, kadar air karbon aktif memenuhi SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 15% untuk karbon aktif jenis *powder*. Sampel karbon yang teraktivasi basa memiliki kadar air yang lebih rendah (2,89%) dibandingkan sampel teraktivasi asam (3,49%). Hal ini disebabkan larutan KOH adalah aktivator yang cukup baik pada karbon. Reaksi karbon dengan larutan KOH juga menghasilkan air karena KOH merupakan agen dehidrasi (*dehydrating agent*).

Tabel 1. Karakteristik karbon aktif kulit singkong

Parameter	Karbon	Karbon teraktivasi HCl 0,4 M	Karbon teraktivasi KOH 0,4 M	SNI 06-3730-1995
Kadar air (%)	3,70	3,49	2,89	Maks. 15%
Kadar abu (%)	15,28	6,78	9,03	Maks. 10%

Reaksi karbon dengan KOH diilustrasikan sebagai berikut:



Reaksi di atas menghasilkan air karena KOH merupakan *dehydrating agent*/ bersifat mendehidrasi. Pada proses aktivasi, karbon akan bereaksi dengan KOH sehingga karbon akan terkikis membentuk lubang atau pori-pori. Pembentukan pori-pori akan meningkatkan luas permukaan karbon (Erlina *et al.* 2015). Semakin luas permukaan karbon aktif diharapkan akan meningkatkan efisiensi adsorpsi. Hasil ini didukung oleh penelitian Setiawati dan Suroto (2010) yang menunjukkan bahwa penggunaan basa menghasilkan kadar air karbon aktif yang lebih rendah daripada asam. Aktivator KOH yang bereaksi dengan air dalam bahan cenderung lebih tinggi sehingga membentuk KOH.H₂O. Saat dikeringkan dalam oven dengan suhu 110 °C selama 2 jam, air sisa akan menguap.

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa kadar abu karbon sangat tinggi sebesar 15,28%. Pembakaran bahan berselulosa pada suhu tinggi mengakibatkan terbentuknya abu pada bahan. Semakin lama pemanasan kemungkinan terbentuknya abu semakin banyak. Adsorben yang teraktivasi asam memiliki kadar abu 6,78% yang lebih rendah dibandingkan sampel yang teraktivasi basa (9,03%). Hal ini menjelaskan bahwa perendaman adsorben menggunakan larutan HCl lebih baik dibandingkan dengan KOH pada konsentrasi yang sama. Kadar abu sebelum aktivasi tinggi karena dalam proses karbonisasi terdapat mineral, tar, dan senyawa lain yang tidak dapat menguap. Mereka akan dilarutkan oleh pelarut asam dan basa yang digunakan untuk membersihkan dari senyawa pengotor tersebut. Sehingga arang setelah aktivasi lebih rendah kadar abunya.

Penggunaan larutan asam dalam aktivasi karbon mampu melarutkan tar, garam Ca dan Mg dengan lebih baik (Anwar *et al.*, 2016). Aktivator yang bersifat asam lebih optimum dalam memperluas pori-pori pada permukaan adsorben (Erawati dan Fernando, 2018), sedangkan aktivator KOH yang bertindak sebagai basa kuat dapat menghilangkan zat pengotor dalam karbon hasil karbonisasi yang kurang sempurna seperti zat volatil dan tar (Nurfitriya *et al.*, 2019). Hal ini sesuai dengan kualitas karbon aktif

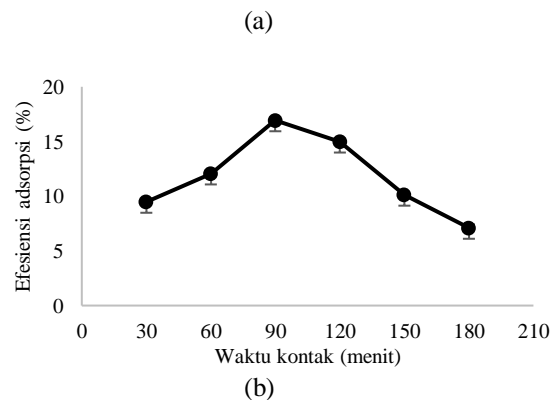
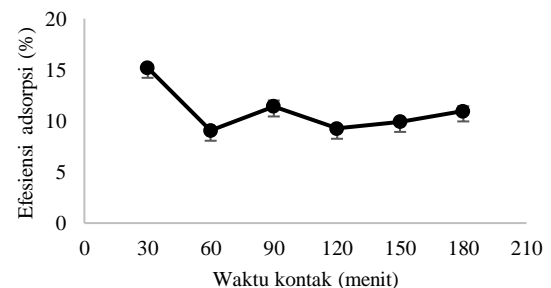
yang baik sebagai adsorben adalah yang memiliki kadar abu yang paling rendah (Kwaghger dan Ibrahim, 2013). Aktivator KOH menghasilkan kadar abu 9,03%, aktivator tersebut menghasilkan karbon dengan kadar abu yang masih memenuhi syarat karbon aktif pada SNI 06-3730-1995 sebagai standar maksimal yaitu 10%.

Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Limbah Artifisial

Kinerja karbon aktif dapat ditentukan dari lama waktu kontak dan pH yang optimum pada limbah fosfat artifisial. Limbah artifisial yang digunakan memiliki konsentrasi fosfat 19,34 mg/L dengan pH 4,42. Dasar pertimbangan konsentrasi larutan fosfat artifisial yaitu berdasarkan SNI 06698931-2005 untuk membuat kurva standar untuk analisis uji menggunakan spektrofotometer.

Kondisi Lama Waktu Kontak Optimum

Hubungan antara daya serap dengan waktu kontak dapat dilihat pada grafik, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan efisiensi adsorpsi berbagai waktu kontak (a) karbon teraktivasi HCl 0,4 M dan (b) karbon teraktivasi KOH 0,4

Hasil analisis waktu kontak pada sampel teraktivasi asam memiliki efisiensi penyerapan fosfat terbaik pada menit ke-30 sebesar 15,21%. Berdasarkan analisis ragam dengan ANOVA-DNMR, nilai efisiensi adsorpsi adsorben teraktivasi asam tidak berpengaruh nyata pada perlakuan lama waktu kontak ($\alpha = 0,05$). Hal ini dapat diduga bahwa pada titik ini, adsorben sudah mengalami kejenuhan atau mencapai titik setimbang. Adapun karbon teraktivasi basa memiliki efisiensi adsorpsi terbaik pada menit ke-90 dengan besar efisiensi 16,93%. Sedangkan pada menit di atas 90 terjadi penurunan efisiensi. Nilai efisiensi adsorpsi adsorben teraktivasi basa berpengaruh nyata pada perlakuan lama waktu kontak ($\alpha = 0,05$). Hal ini diduga pada menit ke-90 sampel sudah jenuh dan mencapai titik optimum dalam mengadsorpsi.

Jenis aktivator yang digunakan pada sampel juga mempengaruhi kecepatan proses adsorpsi dalam mencapai kesetimbangan. Adsorpsi bergantung pada faktor-faktor seperti luas permukaan, penyebaran pori, dan sifat kimia permukaan yang cenderung basa menyebabkan jenis adsorpsi terjadi secara fisik, diindikasikan dari proses adsorpsi dan desorpsi yang terjadi (Laos dan Selan, 2016).

Berdasarkan analisis statistika, waktu kontak memiliki pengaruh yang signifikan pada sampel teraktivasi basa namun tidak berpengaruh signifikan pada sampel teraktivasi asam dalam penurunan konsentrasi fosfat. Maka keputusan untuk melanjutkan uji digunakan waktu kontak 30 menit untuk sampel teraktivasi asam dan 90 menit pada waktu kontak sampel teraktivasi basa.

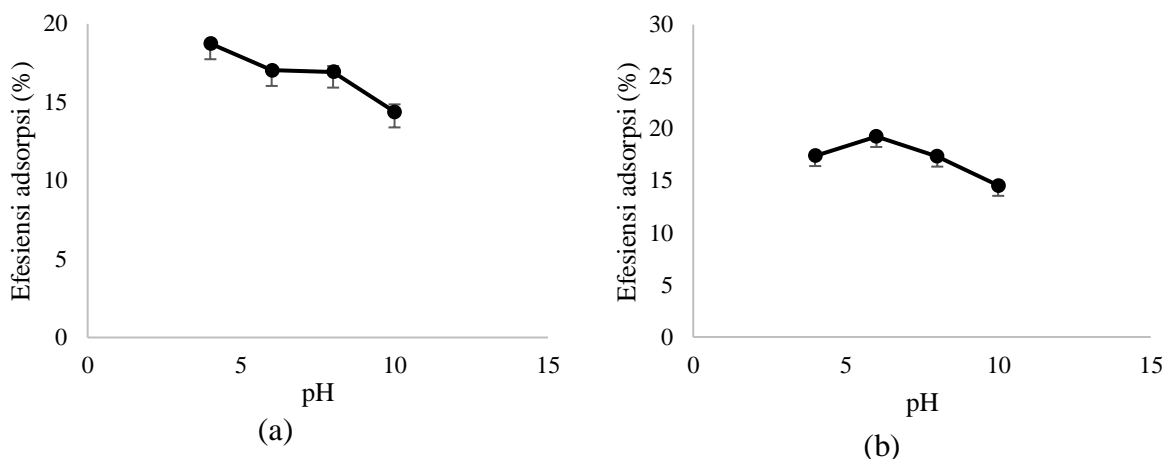
Kondisi pH Limbah

Nilai pH merupakan parameter yang mempengaruhi adsorpsi fosfat. Adsorpsi fosfat dipengaruhi oleh pH larutan karena pH larutan akan menentukan muatan adsorbat dan menentukan jenis fosfat yang dapat terakumulasi. Adsorpsi fosfat dapat terjadi dengan membentuk khelat maupun ikatan

elektrostatik. Unsur fosfat ditemukan dalam bentuk senyawa terlarut yang digolongkan menjadi tiga macam yaitu ortofosfat, fosfat total, dan fosfat organik. Spesies ortofosfat yang mendominasi diantaranya PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$. Pada pH 4-6 spesies dominan dalam larutan adalah $H_2PO_4^-$, pada larutan dengan pH 5-9 keberadaan $H_2PO_4^-$ semakin berkurang. Pengaruh pH pada proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, adsorben yang teraktivasi asam memiliki efisiensi adsorpsi pada pH 4. Sementara itu adsorben teraktivasi basa memiliki efisiensi pada pH 6. Efisiensi adsorpsi terjadi pada pH asam ketika dominasi jenis fosfat adalah $H_2PO_4^-$ (Yan *et al.* 2015). Adsorben teraktivasi baik menyerap fosfat pada pH asam karena larutan bermuatan positif akibat keberadaan ion H^+ sehingga gugus $-OH$ pada permukaan adsorben terprotonasi menjadi $-OH^{2+}$. Muatan positif pada permukaan adsorben yang terbentuk akan berinteraksi dan mengalami ikatan elektrostatik dengan senyawa fosfat (PO_4^{3-}) yang bermuatan negatif. Rentang pH antara 3-7 mengakibatkan permukaan adsorben memiliki muatan positif, hal ini memudahkan adsorpsi fosfat yang memiliki muatan negatif $H_2PO_4^-$. Kelompok hidroksil dapat ditukar dengan fosfat teradsorpsi membentuk kompleks permukaan luar (Yan *et al.*, 2015).

Namun sebaliknya, pH lebih dari 8 menyebabkan berkurangnya muatan positif akibat meningkatnya ion OH^- . Hal ini menyebabkan permukaan adsorben cenderung bermuatan negatif dan sulit untuk berinteraksi secara elektrostatik dengan senyawa fosfat karena adanya tolak-menolak muatan negatif yang dihasilkan permukaan karbon dengan senyawa anionik fosfat (PO_4^{3-}). Pada pH 6, adsorben memiliki kemampuan adsorpsi lebih besar karena adanya interaksi elektrostatik antara permukaan adsorben dengan senyawa fosfat.



Gambar 4. Hubungan efisiensi adsorpsi berbagai pH (a) karbon teraktivasi HCl 0,4 M dan (b) karbon teraktivasi KOH 0,4

Berdasarkan analisis statistika, pH berpengaruh signifikan pada sampel teraktivasi basa namun tidak berpengaruh signifikan pada sampel teraktivasi asam ($\alpha = 0,05$). Oleh karena itu, keputusan yang diambil untuk melanjutkan pada tahap penentuan kapasitas adsorpsi adalah menggunakan pH limbah bawaan untuk adsorben teraktivasi asam dan menggunakan pH 6 untuk adsorben teraktivasi basa.

Aplikasi Karbon Aktif Kulit Singkong Pada Limbah Laundry

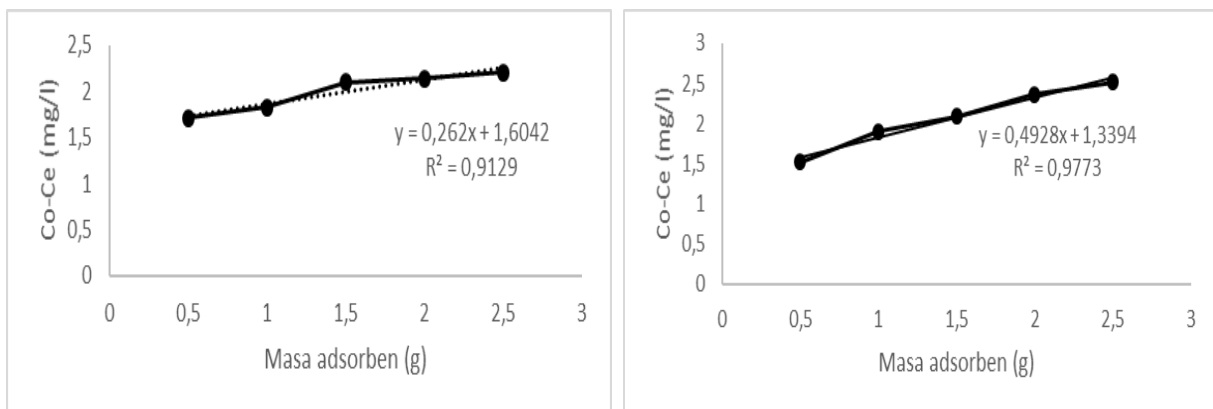
Karakteristik limbah laundry yang digunakan memiliki konsentrasi fosfat 6,04 mg/L dengan pH 6,83. Adapun grafik linier yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi fosfat dengan massa adsorben dapat dilihat pada Gambar 6. Data menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi pada sampel karbon teraktivasi asam yaitu sebesar 0,26 mg/g sedangkan kapasitas adsorpsi sampel karbon teraktivasi basa yaitu 0,49 mg/g. Karbon yang diaktivasi basa memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan karbon yang diaktivasi asam. Hasil ini sesuai dengan penelitian Irdhawati *et al.* (2016) yang menggunakan dua jenis aktivator asam dan basa untuk aktivasi karbon aktif dari kulit kacang tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon teraktivasi basa memiliki kemampuan menyerap ion fosfat lebih baik dibandingkan dengan karbon tanpa aktivasi dan karbon teraktivasi asam.

Daya serap karbon aktif berkaitan dengan sifat keaktifan karbon. Terjadi kontak antara adsorbat dengan karbon aktif berpori menyebabkan molekul zat terlarut tertarik ke dalam pori dan tertahan di dalamnya melalui gaya Van der Waals yang lemah. Adsorpsi akan berlangsung secara fisik. Kemampuan adsorpsi dipengaruhi oleh adanya gugus aktif pada permukaan karbon. Aktivator akan memberikan

pengaruh terhadap gugus aktif pada karbon aktif. Peningkatan gugus aktif terjadi karena ada pertukaran ion. Gugus aktif dari aktivator menempel pada karbon aktif digantikan gugus -OH dari akuades pada proses pencucian dan terjadi pertukaran ion dengan aktivator. Gugus hidroksil dapat membentuk serangkaian penjerapan dengan senyawa kationik maupun anionik (O'Connell *et al.*, 2008).

Penelitian Rajagukguk (2018) tentang pemanfaatan kulit durian sebagai adsorben dalam menyerap fosfat menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 2,39 mg/g. Kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi ditentukan oleh kandungan karbon bahan baku. Kulit durian mengandung 50%-60% *carboxymethylcellulose* dan 5% lignin (Budiman *et al.*, 2018), sedangkan kulit singkong mengandung 59,31% karbon dengan presentasi lignin 21,72% (Santoso *et al.*, 2012). Kapasitas adsorpsi juga dipengaruhi oleh perbedaan proses pembuatan adsorben yang digunakan. Jenis dan sifat fosfat yang dijerap juga mempengaruhi kemampuan karbon aktif dalam proses adsorpsi. Fosfat dalam air limbah ditemukan dalam bentuk ortofosfat.

Kulit singkong mampu dijadikan adsorben pada pengolahan air. Adsorben yang dibuat pada penelitian ini belum optimal dalam menyerap fosfat. Namun pada sampel dan metode yang sama, adsorben kulit singkong yang diaktivasi KOH 0,4 M memiliki kemampuan yang baik dalam mengadsorpsi ion logam Pb^{2+} dengan efisiensi 98% (Suprabawati *et al.*, 2018). Adapun penjerapan fosfat menggunakan karbon aktif dari kulit durian memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 2,39 mg/g pada waktu kontak optimum 25 menit dan berat adsorben 1 g (Rajagukguk, 2018). Perbedaan ini dipengaruhi oleh jenis bahan baku, metode dalam pembuatan adsorben, dan jenis adsorbat yang digunakan.



Gambar 5. Kapasitas adsorpsi (a) karbon teraktivasi asam dan (b) karbon teraktivasi basa pada limbah laundry

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemanfaatan kulit singkong menjadi karbon aktif dilakukan dengan karbonisasi kulit singkong menjadi karbon kemudian aktivasi karbon menggunakan HCl 0,4 M atau KOH 0,4 M. Hasil analisis karbon aktif menunjukkan kadar air dan kadar abu karbon aktif baik yang teraktivasi asam maupun teraktivasi basa memenuhi SNI 06-3730-1995. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa waktu kontak dan pH optimum karbon aktif asam yaitu 30 menit dan pH 4 dengan efisiensi adsorpsi fosfat 15,21%, sedangkan karbon aktif basa yaitu 90 menit dan pH 6 dengan efisiensi adsorpsi fosfat 16,93%. Karbon aktif teraktivasi basa memiliki kapasitas adsorpsi senyawa fosfat lebih besar yaitu 0,49 mg/g, dibandingkan karbon aktif teraktivasi asam yaitu 0,26 mg/g. Karbon aktif dari kulit singkong dapat diaplikasikan sebagai adsorben untuk menurunkan konsentrasi fosfat pada limbah usaha *laundry*.

Saran

Penelitian selanjutnya lebih spesifik pada penentuan jenis bahan baku kulit singkong, karakterisasi arang meliputi luas kandungan karbon kulit singkong sebelum karbonisasi, setelah karbonisasi dan setelah aktivasi. Pengujian luas permukaan spesifik, kandungan zat/unsur pengotor, dan komposisi gugus fungsional perlu dilakukan terhadap karbon yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2005. Official Methode of Analysis. Washington DC (US): Association of Official Analytical Chemists Inc.
- [APHA] American Public Health Association. 2005. Standard method for the examination of water and wastewater. Washington DC (US): American Public Health.
- Aselfa FS. 2019. Penurunan kadar polutan limbah detergen dengan metode elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Abdillah AI, Darjito, dan Khunur MM. 2013. Pengaruh pH dan waktu kontak pada adsorpsi ion logam Cd²⁺ menggunakan adsorben kitin terikat silang glutaraldehid. *Kim Student Journal*. 1 (1): 826-832.
- Anwar RN, Sunarto W, dan Kusumastuti E. 2016. Pemanfaatan bentonit teraktivasi asam klorida untuk pengolahan minyak goreng bekas. *Indonesia Journal Chem Science*. 5(3): 189-194.
- Alfiany H, Bahri S, dan Nurakhirawati. 2013. Kajian penggunaan karbon aktif tongkol jagung

sebagai adsorben logam PB dengan beberapa aktivator asam. *Journal Natural Science*. 2(3): 75-86.

- Badan Pusat Statistik. 2016. Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Tanaman Pangan: Ubi Kayu. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Budiman JAP, Yulianti IM, Jati WN. 2018. Potensi karbon aktif dari kulit buah durian (*Durio Zibethinus Murr.*) dengan aktivator NaOH sebagai penjernih air sumur. *Biota*. 3 (3): 117-124.
- Erawati E dan Fernando A. 2018. Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorbent dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes Faltacaria*). *Jurnal Integrasi Proses*. 7 (2): 58-66. doi:10.36055/jip.v7i2.3808.
- Erlina, Umiatin, dan Budi E. 2015. Pengaruh konsentrasi larutan KOH pada karbon aktif tempurung kelapa untuk adsorpsi logam Cu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. Universitas Negeri Jakarta, Indonesia.
- Melati I. 2009. Pembuatan Karbon aktif dari limbah kulit singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati. [Skripsi]. Semkarbon: Universitas Diponegoro.
- Irdhawati I, Andini A, dan Arsa M. 2016. Daya serap kulit kacang tanah teraktivasi asam basa dalam menyerap ion fosfat secara bath dengan metode bath. *Jurnal Kimia Riset*. 1 (1): 52-57.
- Laos LE, Selan A. 2016. Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif. *Jurnal Ilmu Pend Fis*. 1 (1): 32-36.
- Kwaghger A dan Ibrahim JS. 2013. Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from mango nuts using HCl. *Carbon*. 39 (8): 425-432.
- Majid M, Amir R, Umar R, Hengky HK. 2017. Efektivitas Penggunaan Karbon Aktif pada Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair Usaha *Laundry* di Kota Parepare Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional IKAKESMADA*.
- Maulinda L, Nasrul ZA, dan Sari DN. 2015. Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 4(2): 11-19.
- Mu'in R, Wulandari S, dan Pertiwi NP. 2017. Pengaruh kecepatan pengadukan dan massa adsorben terhadap penurunan kadar fosfat pada pengolahan limbah *laundry*. *Jurnal Tenik Kimia*. 23(1): 67-76.
- Nurfritria N, Febriyantiningrum K, Utomo WP, Nugraheni ZV, Pangastuti DD, Maulida H, Ariyanti FN. 2019. Pengaruh konsentrasi aktivator kalium hidroksida (KOH) pada karbon aktif dan waktu kontak terhadap daya adsorpsi logam Pb dalam sampel air Kawasan

- Mangrove Wonorejo, Surabaya. *Akta Kim Indonesia*. 4(1): 74-85.
- O'Connell DW, Birkinshaw C, dan O'Dwyer TF. 2008. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose. *Bioresour Technol*. 99(15): 6709–6724.
- Permatasari AR, Khasanah LU, dan Widowati E. 2014. Karakterisasi karbon aktif kulit singkong (*Manihot utilissima*) dengan variasi jenis aktivator. *Jurnal Teknol Hasil Pertanian*. 7(2): 70-75.
- Rajagukguk PTR. 2018. Pemanfaatan Kulit Durian sebagai Adsorben Untuk Penyisihan Detergen dan Fosfat dalam Pengolahan Limbah Cair Laundry. [Skripsi]. Sumatera: Universitas Sumatera Utara.
- Santoso SP, Sanjaya N, Ayucitra A, Antasari. 2012. Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku pembuatan natrium karbosimetil. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 11(3): 124-131.
- Sembiring MT dan Sinaga TS. 2003. Karbon Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). [Skripsi]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Setiawati E dan Suroto. 2010. Pengaruh bahan aktivator pada pembuatan karbon aktif tempurung kelapa. *Journal Ris Ind Has Hutan*. 2(1): 21-26. doi:10.24111/jrihh.v2i1.911.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1995. Karbon Aktif. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- Suprabawati A, Holiyah NW, dan Jasmansyah. 2018. Kulit singkong (*manihot esculenta crantz*) sebagai karbon aktif dengan berbagai langkah pembuatan untuk adsorpsi ion logam timbal (Pb^{2+}) dalam air. *Jurnal Kartika Kimia*. 1(1): 21-28. doi:10.26874/jkk.v1i1.8.
- Syauqiah I, Mayang M, dan Kartini HA. 2011. Analisis waktu kontak dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan karbon aktif. *Jurnal Info Tek Ind*. 12 (1): 11-20.
- Utomo S. 2014. Pengaruh waktu aktivasi dan ukuran partikel terhadap daya serap karbon aktif dari kulit singkong dengan aktivator NaOH. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan teknologi*. Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia.
- Yan L, Yang K, Shan R, Yan T, Wei J, Yu S, Yu H, Du B. 2015. Kinetic, isotherm and thermodynamic investigation of phosphate adsorption onto core-shell $Fe_3O_4@LDHS$ composites with easy magnetic separation assistance. *Journal Colloid Interface Science*. doi:10.1016/j.jcis.2015.02.048.