

Studi adsorpsi limbah organik industri tahu tempe dengan karbon aktif kayu merbau [*Intsia bijuga* (Colebr) O. Kuntze]

*Study of adsorption of organic waste from tofu and tempe with activated carbon of merbau wood [*Intsia bijuga* (Colebr) O. Kuntze]*

Noor Endah Setyaningrum, Bimo Budi Santoso dan Bertha Mangallo

Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Papua,
Manokwari 98314, Indonesia.

E-mail : noorendahsns@gmail.com

ABSTRACT: Study on adsorption of tofu and tempe industrial organic waste with timber wood [*Intsia bijuga* (Colebr) O. Kuntze] as the active carbon has been executed. The objective the research is to determine the optimum required concentration of HCl to active the coal of timber wood, discover optimum adsorption capacity of timber charcoal to reduce the level of BOD₅ dan COD in fluids waste of tofu and tempe industry. Research method of activating timber wood charcoal is physically by heating 700°C of temperature and chemically by submersion in HCl 1M, 2M and 3M. First, variation is made of contact duration of timber wood active carbon and fluid waste for 30, 60, 90 and 120 minutes. Then, volume of fluid waste is also differed by 100, 150, 200, 250 and 300 ml per 0.5 gram of active carbon. Result of the research shows that optimum condition for adsorption of tofu and tempe industrial fluid waste are as follow : at consenstrate of HCl 3M, contact duration 30 minutes, fluid waste volume 250 ml per 0.5 gram of active carbon, optimum adsorption capacity of timber wood active carbon is achieved which lowering the level of BOD₅ and COD of Rizky tofu and tempe industrial fluid waste; each by 60,600 mg/g and 12,500 mg/g. On the state where volume of the waste is 100 ml per 0.5 gram, optimum adsorption capacity of the timber wood active carbon in reducing the BOD₅ and COD level of Sukamaju tofu and tempe industrial fluid waste is 82,400 mg/g and 164,200 mg/g each.

Keyword : *Adsorption, BOD₅, COD, tofu and tempe industrial fluid waste, active carbon, wood.*

ABSTRAK: Studi tentang adsorpsi limbah organik industri tahu dan tempe dengan kayu kayu [*Intsia bijuga* (Colebr) O. Kuntze] ketika karbon aktif telah dieksekusi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan konsentrasi HCl yang diperlukan untuk mengaktifkan batubara kayu kayu, menemukan kapasitas adsorpsi arang kayu yang optimal untuk mengurangi tingkat BOD₅ dan COD dalam limbah cair industri tahu dan tempe. Metode penelitian untuk mengaktifkan arang kayu kayu secara fisik dengan memanaskan suhu 700oC dan secara kimiawi dengan perendaman dalam HCl 1M, 2M dan 3M. Pertama, variasi dibuat dari durasi kontak karbon aktif kayu dan limbah cair selama 30, 60, 90 dan 120 menit. Kemudian, volume limbah cair juga berbeda dengan 100, 150, 200, 250 dan 300 ml per 0,5 gram karbon aktif. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk adsorpsi limbah cair industri tahu dan tempe adalah sebagai berikut: pada konsentrasi HCl 3M, durasi kontak 30 menit, volume limbah cair 250 ml per 0,5 gram karbon aktif, kapasitas adsorpsi optimal kayu kayu Karbon aktif dicapai yang menurunkan tingkat BOD5 dan COD dari tahu Rizky dan limbah cair industri tempe; masing-masing sebesar 60.600 mg/g dan 12.500 mg/g. Pada keadaan di mana volume limbah adalah 100 ml per 0,5 gram, kapasitas adsorpsi optimal dari karbon aktif kayu kayu dalam mengurangi BOD5 dan tingkat COD dari tahu Sukamaju dan limbah cair industri tempe masing-masing adalah 82.400 mg/g dan 164.200 mg/g .

Kata kunci: Adsorpsi, BOD₅, COD, industri tahu dan tempe, limbah cair, karbon aktif, kayu.

PENDAHULUAN

Tahu dan tempe merupakan salah satu jenis makanan sumber protein dengan bahan baku kacang kedelai yang sangat digemari oleh masyarakat karena sehat, bergizi dan harganya murah. Kota Manokwari memiliki 10 industri tahu dan tempe, yaitu Banyumas, Sukamaju, Sumber Gizi, Rizky, Cipta Rasa, Pasar Wosi, Mandiri, Cahaya Transito, Margiono dan Fanindi (BLH Kabupaten Manokwari, 2015). Semua industri tahu tempe tersebut merupakan industri kecil skala rumah tangga yang tidak dilengkapi dengan unit pengolah air limbah. Selain itu, semua industri tahu tempe ini berlokasi di daerah pinggir sungai dan tepi laut serta tidak memiliki ruang yang cukup untuk membuat system pengelolaan limbah cairnya sehingga semua industri tersebut mengalirkan limbahnya ke badan air.

Pada tahun 2013 terdapat pengaduan masyarakat yang mengeluhkan gangguan bau yang dihasilkan oleh industri tahu tempe Sukamaju yang berlokasi di Kampung Jawa Wosi Manokwari (BLH Kabupaten Manokwari, 2013). Daerah Kampung Jawa Wosi Manokwari merupakan salah satu daerah padat penduduk dan terdapat 3 industri tahu tempe, yaitu industri tahu tempe Banyumas, Sumber Gizi dan

Sukamaju. Industri tahu tempe Sukamaju menggunakan bahan baku sebanyak 200 kg kedelai per hari untuk membuat tahu tempe dengan pembagian bahan baku 50 kg kedelai untuk pembuatan tempe dan 150 kg kedelai untuk pembuatan tahu kemudian hasil uji air limbahnya menunjukkan konsentrasi COD sebesar 517 mg/L. Selain itu, industri tahu tempe Rizky menggunakan bahan baku kedelai sebanyak 400 kg per hari dengan pembagian bahan baku 100 kg kedelai untuk membuat tempe dan 300 kg kedelai untuk membuat tahu. Hasil uji air limbah industri tahu tempe Rizky menunjukkan konsentrasi COD sebesar 1122 mg/L (BLH Kabupaten Manokwari, 2013). Banyaknya bahan baku kedelai yang digunakan oleh industri tahu tempe Rizky menyebabkan kandungan konsentrasi COD dalam air limbah industri ini meningkat. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 15 Tahun 2008 menyebutkan baku mutu konsentrasi COD adalah 300 mg/L, sehingga air limbah industri tahu tempe Sukamaju dan Rizky melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Pemerintah dan harus diolah sebelum dibuang ke badan air atau lingkungan.

Salah satu teknik pengolahan air limbah industri tahu tempe adalah dengan penggunaan karbon aktif. Karbon

aktif merupakan arang yang sudah diaktifkan sehingga pori-porinya terbuka dengan demikian daya adsorpsinya tinggi. Pada pembuatan karbon aktif, untuk meningkatkan daya adsorpsinya dilakukan dengan dua proses, yaitu aktivasi fisik dan aktivasi kimia. Karbon aktif yang digunakan berasal dari kayu merbau (kayu besi) dari limbah mebel yang diaktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan HCl

Penelitian ini bertujuan untuk 1) Menentukan konsentrasi optimum HCl yang digunakan untuk mengaktivasi arang kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organik industri tahu tempe, 2) Menentukan waktu kontak optimum karbon aktif kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organik industri tahu tempe, 3) Menentukan kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organik industri tahu tempe.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 6 bulan dari bulan Februari 2017 sampai dengan Agustus 2017. Lokasi pengambilan sampel kayu merbau berasal dari limbah kayu industri mebel Sinar Sowi yang beralamat di jalan poros Sowi 4 Manokwari. Sampel limbah cair industri tahu tempe yang merupakan limbah organik diambil pada lokasi outlet (bak penampungan) industri tahu tempe Sukamaju dan industri tahu tempe Rizky di Kabupaten Manokwari

Variabel yang diamati adalah kandungan karakteristik limbah cair industri tahu tempe industri Sukamaju dan Rizky, yaitu *Biological Oxygen Demand* (BOD₅) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Variabel operasional pada penelitian ini adalah konsentrasi

aktivator HCl, waktu kontak, daya serap/ kapasitas adsorpsi karbon aktif kayu merbau dan volume limbah cair industri tahu tempe.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen di laboratorium, pengambilan sampel menggunakan teknik purposive sampling dan Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah metode grab sampling, yaitu pengambilan sampel hanya dilakukan satu kali serta Teknik pengambilan sampel limbah cair menggunakan metode SNI 6989.59 – 2008 tentang metode pengambilan contoh air limbah.

PROSEDUR PENELITIAN

Pembuatan Karbon Aktif Kayu Merbau

a. Pembuatan Arang

kayu merbau dikeringkan di bawah sinar matahari selama kurang lebih 1 hari, setelah itu dimasukkan dalam kaleng yang sebelumnya pada bagian bawah kaleng dimasukkan sehelai kertas dan sabut kelapa, kemudian dibubuhi minyak tanah dan dibakar. Proses pembakaran (karbonisasi) dilakukan dengan teknik kiln drum, yaitu pembakaran dengan udara terbatas selama $\pm 6 - 7$ jam.

b. Proses Penggilingan

Arang kayu merbau yang diperoleh digiling menggunakan crusher, setelah itu diayak menggunakan ayakan – 100 + 150 mesh (lolos 100 mesh, tertahan 150 mesh).

c. Aktivasi Karbon

Serbuk arang yang diperoleh dibagi 2 (dua) bagian, satu bagian tanpa aktivator (blanko) atau aktivasi fisik dengan suhu 700°C selama 3 jam dan satu bagian lainnya dibagi lagi menjadi

tiga bagian. Kemudian masing-masing bagian ini dicampur dengan larutan HCl 1M, 2M dan 3M dengan perbandingan 1 : 10 (10 g arang dengan 100 ml larutan) dan dididihkan selama 1,5 jam. Selanjutnya arang tersebut didinginkan kemudian disaring dan dicuci hingga netral. Setelah itu, sampel dipindahkan ke dalam cawan yang memakai penutup dan dimasukkan dalam tanur listrik dan diaktivasi pada suhu 600°C selama 3 jam. Kemudian dicuci dengan air mendidih pada suhu 100°C selama 3 menit dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam (Manarisip, 1984 dalam Endah, 2005).

Pengujian Karakteristik Karbon Aktif Kayu Merbau

a. Penetapan Kadar Air

Prosedur penetapan kadar air mengacu pada SNI 06 – 3730 – 1995 tentang syarat mutu dan pengujian karbon aktif. Contoh uji (karbon aktif) sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam cawan porselin yang memiliki bobot konstan, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator selanjutnya ditimbang sampai bobotnya tetap dan ditentukan kadar airnya dalam persen (%).

Rumus perhitungan kadar air :

$$\text{kadar air (\%)} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan: a = massa awal karbon aktif kayu merbau sebelum di oven (g), b = massa akhir karbon aktif kayu merbau setelah di oven (g)

b. Penetapan Kadar Abu

Prosedur penetapan kadar abu mengacu pada SNI 06 – 3730 – 1995 tentang syarat mutu dan pengujian

karbon aktif. Cawan yang telah berisi 1 g karbon aktif pada uji penetapan kadar air, digunakan untuk mengukur kadar abu dengan cara memasukkan cawan porselin ini dalam tanur listrik dengan suhu 600°C selama 6 jam. Selanjutnya didinginkan dalam desikator dan ditimbang hingga bobotnya konstan.

Rumus perhitungan kadar abu :

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{b}{a} \times 100\%$$

Keterangan: a = massa awal karbon aktif sebelum di tanur (g), b = massa akhir karbon aktif setelah di tanur (g).

c. Daya Serap terhadap I₂

Prosedur penetapan daya serap terhadap I₂ mengacu pada SNI 06 – 3730 – 1995 tentang syarat mutu dan pengujian karbon aktif. Sampel karbon aktif yang telah kering oven ditimbang sebanyak ± 0.25 g dan dimasukkan kedalam labu Erlenmeyer. Kemudian sampel tersebut diberi 25 mL larutan iodium 0.1 N, selanjutnya diaduk dengan menggunakan stirrer selama ± 15 menit. Larutan yang telah diaduk kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring dan hasilnya dipipet 10 mL untuk titrasi menggunakan larutan thiosulfat 0.1 N. Selanjutnya ditambahkan 1 tetes amilum 1% kemudian dititrasi. Titrasi dilakukan hingga larutan sampel berubah warna menjadi bening.

Rumus perhitungan daya serap terhadap I₂ :

$$A = \frac{\left[\frac{B \times N (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{N (\text{iodin})} \right] \times 126.93 \times fp}{a}$$

Keterangan: A = volume larutan iodine (mL), B = volume natrium tiosulfat/ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL), fp = faktor pengenceran, a = massa karbon aktif (g), N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) = konsentrasi natrium tiosulfat (N), N (iodin) = konsentrasi iodin (N), 126.93 = jumlah iodin sesuai 1 mL larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Pengujian Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu Tempe Dan Pengujian Daya Serap/ Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Kayu Merbau Pada Limbah Cair Industri Tahu Tempe

1). Menurut Irmanto dan Suyata (2009), Uji nilai Biological Oxygen Demand (BOD) dalam limbah cair industri tahu tempe (APHA, 1995).

Pengukuran BOD dilakukan menggunakan metode titrasi winkler. Kemudian dapat ditentukan kadar BOD.

1. Penentuan DO_0

Pipet 10 ml sampel limbah cair industri tahu tempe kedalam labu ukur 100 ml, ditambahkan masing-masing 1 ml buffer fosfat, MgSO_4 , CaCl_2 , dan FeCl_3 kemudian encerkan dengan air suling sampai tanda batas. Pindahkan kedalam beker 1000 ml lalu aerasi selama 15 menit. Setelah itu dimasukkan kedalam botol winkler dan tutup. Tambahkan masing-masing 1 ml alkali azida dan MnSO_4 10%, tutup lalu kocok dengan cara membolak-balikkan botol winkler. Dibiarkan selama 10 menit lalu dipindahkan ke Erlenmeyer. Selanjutnya tambahkan 1 ml H_2SO_4 pekat, kocok dan titrasi dengan larutan tiosulfat 0.025 N hingga kuning pucat (mendekati coklat muda). Kemudian tambahkan beberapa tetes amilum atau kanji 1 % (akan timbul warna biru)

kemudian ditirasi sampai warna biru tepat hilang.

Rumus kadar oksigen terlarut (DO) :

$$= \frac{(V \times N) \text{titran} \times 8 \times 1000}{V \text{ sampel}}$$

Keterangan: V titran = Volume Tiosulfat/ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL), N titran = Normalitas tiosulfat (N), 8 = Berat ekivalen (BE) O_2 , 1000 = mL perliter air, V sampel = Volume air limbah (mL)

2. Penentuan DO_5

Sampel yang telah diaerasikan pada pengerjaan DO_0 dimasukkan kedalam botol winkler dan ditutup rapat (dijaga jangan sampai timbul rongga udara) kemudian disimpan selama 5 hari. Selanjutnya dititrasi dengan cara yang sama dengan penentuan DO_0 .

Rumus perhitungannya sama dengan perhitungan DO_0 . Sehingga :

Rumus perhitungan BOD = $\text{DO}_0 - \text{DO}_5$

2). Uji nilai Chemical Oxygen Demand (COD) dalam limbah cair industri tahu dan tempe menggunakan metode spektrofotometri

Pipet 10 ml sampel limbah cair (filtrate) kedalam kuvet. Kemudian ditambahkan reagen COD Hach kedalam kuvet dan dikocok perlahan agar homogen. Selanjutnya didiamkan sebentar, lalu sampel dimasukkan kedalam spektrofotometri untuk dilakukan pembacaan nilai COD. Spektrofotometri yang digunakan adalah Spektrofotometri Hach 3900 dimana pembacaan nilai COD berdasarkan panjang gelombangnya, yaitu 320 nm.

3). Pengujian/ penentuan konsentrasi optimum aktivator HCl

Pipet 100 ml sampel limbah cair (outlet) kedalam masing-masing Erlenmeyer 250 ml. Kemudian ditambahkan kedalam masing-masing Erlenmeyer tersebut 0.5gram karbon aktif yang diaktivasi fisik dan diaktivasi kimia dengan HCL 1M, 2M dan 3M. Selanjutnya distirer selama 30 menit lalu disaring. Filtrat masing-masing Erlenmeyer dibagi 3 untuk pengujian BOD₀, BOD₅ dan COD. Hal ini dilakukan sebanyak dua kali pengulangan (duplo).

4). Pengujian/ penentuan waktu kontak optimum karbon aktif dengan limbah cair industri tahu tempe

Pipet 100 ml sampel limbah cair (outlet) kedalam masing-masing Erlenmeyer 250 ml. Kemudian ditambahkan kedalam masing-masing Erlenmeyer tersebut 0.5gram karbon aktif yang menghasilkan daya serap optimum pada langkah diatas. Selanjutnya distirer selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Lalu disaring, filtrat pada masing-masing Erlenmeyer dibagi tiga bagian untuk pengujian BOD₀, BOD₅ dan COD. Hal ini dilakukan dua kali pengulangan (duplo).

5). Pengujian/ penentuan kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau dengan variasi volume limbah cair industri tahu tempe

Pipet 100 ml, 150 ml, 200 ml, 250 ml dan 300 ml sampel limbah cair (outlet) kedalam masing-masing erlenmeyer 500 ml. Kemudian kedalam masing-masing Erlenmeyer tersebut ditambahkan karbon aktif pada langkah

didasar sebanyak 0.5 gram, lalu distirer selama waktu optimum yang telah dihasilkan pada langkah diatas. Selanjutnya disaring dan filtrate masing-masing Erlenmeyer tersebut dibagi 3 bagian untuk dilakukan pengujian BOD₀, BOD₅ dan COD. Hal ini dilakukan dua kali pengulangan (duplo).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel penelitian berupa karbon aktif kayu merbau dengan berbagai jenis variasi konsentrasi aktivator HCl dalam Tabel 1 memiliki karakteristik seperti kadar air, kadar abu dan daya serap I₂. Pengujian kadar air karbon aktif kayu merbau bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif tersebut.

Bertambahnya pori-pori mengakibatkan sifat higroskopis karbon aktif menjadi meningkat. Gambar 1 menunjukkan bahwa arang kayu merbau yang diaktivasi secara kimia dengan HCl 3M (sampel IV) nilai kadar airnya lebih kecil dibandingkan dengan sampel III. Hal ini berarti dalam sampel III telah terjadi keseimbangan higroskopis atau keadaan tepat jenuh sehingga nilai kadar airnya dalam kondisi maksimal. Setelah keseimbangan terjadi, penambahan konsentrasi HCl pada sampel IV menyebabkan turunnya nilai kadar air. Hal ini berarti sifat higroskopis sampel IV juga mengalami penurunan.

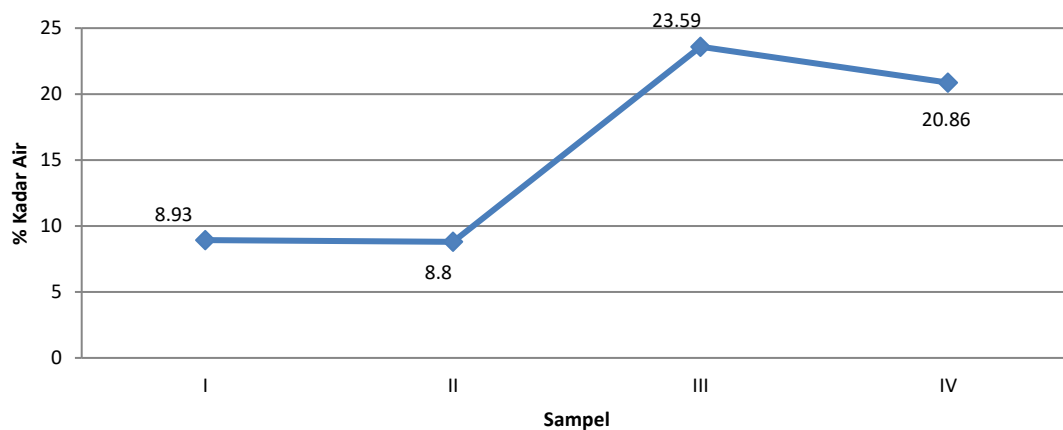
Menurut Tsoumis (1991), Sifat higroskopis menyebabkan arang aktif pada kondisi dan kelembaban tertentu akan mencapai keseimbangan kadar air, keseimbangan kadar air ini merupakan ukuran higroskopisitas. Selain itu menurut Hendaway (2003) dalam Emmy Sahara, *et al.*, (2017) kadar air sangat dipengaruhi oleh

jumlah uap air diudara, lama proses pendinginan dan sifat higroskopis dari arang tersebut. Menurut Prastiwi (2014) kadar air yang terkandung dalam karbon aktif juga dipengaruhi oleh jumlah uap air diudara, lama proses pendinginan, penggilingan dan pengayakan.

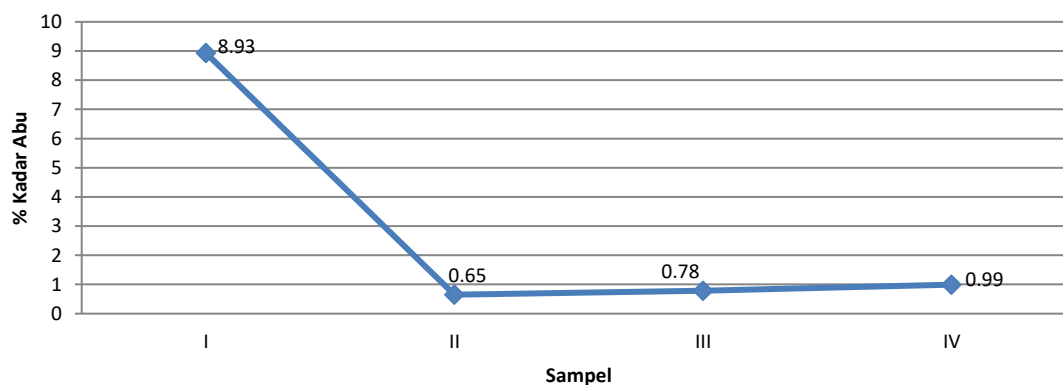
Pengujian karakteristik selanjutnya adalah kadar abu. Kadar abu merupakan banyaknya kandungan oksida logam yang terdiri dari mineral-mineral dalam suatu bahan yang tidak menguap pada proses pengabuan (Laos, *et al.*, 2016).

Tabel 1 Karakteristik Karbon Aktif Kayu Merbau Setelah Diaktivasi

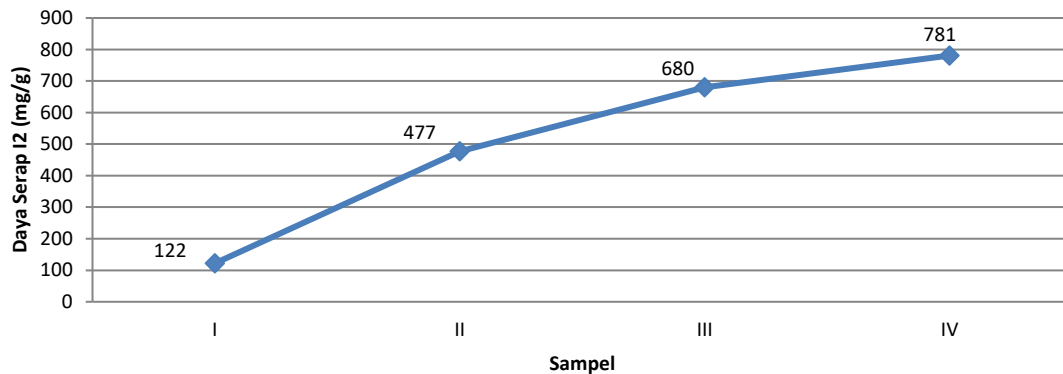
Sampel	Hasil Pengujian			
	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Daya Serap I ₂ (mg/g)	Daya Serap I ₂ (%)
I. Karbon aktif yang diaktivasi secara fisik dgn pemanasan 700°C	8.93	8.93	122	6.1
II. Karbon Aktif yang diaktivasi dengan [HCl 1M]	8.80	0.65	477	23.85
III. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 2M]	23.59	0.78	680	34
IV. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 3M]	20.86	0.99	781	39.05



Gambar 1 Kurva Hubungan Kadar Air Sampel Dengan Metode Aktivasi



Gambar 2 Kurva hubungan kadar abu sampel dengan metode aktivasi



Gambar 3 Kurva Daya serap I₂ Tiap Sampel

Perbedaan metode aktivasi arang kayu merbau dalam menentukan kadar abu menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan (Gambar 2). Arang kayu merbau yang diaktivasi secara fisik (sampel I) memiliki kadar abu sebesar 8.93%. Sedangkan arang kayu merbau yang diaktivasi secara kimia dengan penambahan HCl 1 M (sampel II) memiliki kadar abu sebesar 0.65%.

Penggunaan HCl untuk mengaktivasi arang kayu merbau sangat berpengaruh terhadap penurunan kadar abu karbon aktif kayu merbau karena aktivator HCl merupakan salah satu asam kuat yang mampu mengikat atau melarutkan zat-zat pengotor pada permukaan karbon aktif kayu merbau kemudian menguap atau hilang selama proses pengabuan. Zat-zat pengotor tersebut dapat berupa tar, oksida logam dan mineral-mineral lainnya yang terbentuk selama proses karbonisasi. Oleh karena itu, permukaan karbon aktif kayu merbau menjadi terbuka dan luas permukaan karbon aktif akan semakin besar sehingga kemampuan karbon aktif ini semakin besar untuk menyerap substrat baik berupa gas ataupun cairan.

Semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan untuk mengaktivasi sampel maka kadar abu yang dihasilkan semakin tinggi (Gambar 2).

Peningkatan kadar abu dapat terjadi akibat terbentuknya garam-garam mineral pada saat proses pengabuan yang bila dilanjutkan akan membentuk partikel-partikel halus dari mineral garam tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan bahan mineral yang terdapat didalam bahan awal biomassa pembuat karbon (Laos, *et al.*, 2016).

Pengujian karakteristik karbon aktif kayu merbau selanjutnya adalah daya serap I₂ (iodin). Penentuan daya serap iodin bertujuan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif (Jankowska, *et al.*, 1991; Sahara, *et al.*, 2017). Menurut Budiono, *et al.*, (2009) dalam Prastiwi (2014), daya serap iodin ditunjukkan dengan besarnya bilangan iod, yaitu angka yang menunjukkan seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi iod. Daya serap iodin berkorelasi dengan luas permukaan karbon aktif karena semakin besar daya serap iod maka semakin besar kemampuan dalam mengadsorpsi larutan atau substrat tersebut.

Daya serap I₂ yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan untuk merendam karbon aktif, maka daya serap I₂ semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi HCl 3M efektif untuk

menghilangkan oksida-oksida logam dan kotoran lain yang menempel pada permukaan karbon, sehingga pori-pori pada permukaan karbon lebih terbuka untuk menyerap adsorbat.

Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu Tempe Rizky Dan Sukamaju

Variasi Konsentrasi Aktivator HCl

Besarnya daya serap karbon aktif kayu merbau atau penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah cair industry tahu tempe Rizky dan Sukamaju dapat dilihat dalam Tabel 2.

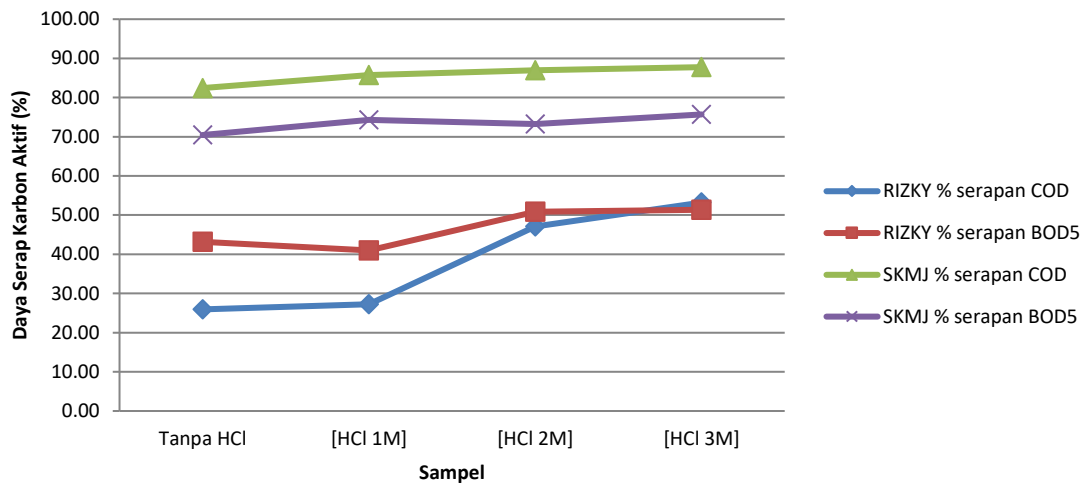
Tabel 2 menunjukkan bahwa daya serap karbon aktif (%) untuk nilai BOD₅ dan COD dalam limbah cair industri tahu tempe Sukamaju lebih tinggi dibandingkan dengan industri tahu tempe Rizky. Dalam sampel II, yaitu karbon aktif diaktivasi fisik atau diaktivasi tanpa karbon aktif menghasilkan BOD₅ yang diserap dari limbah cair industri tahu tempe Sukamaju adalah sebanyak 70.44% sedangkan BOD₅ yang diserap dari

limbah cair industri tahu tempe Rizky sebanyak 43.21%. Selain itu, COD yang diserap dari limbah cair industry tahu tempe Sukamaju juga lebih tinggi dibandingkan dengan COD yang diserap dari limbah cair industri tahu tempe Rizky. COD yang diserap dari limbah cair industri tahu tempe Sukamaju sebesar 82.42% dan COD yang diserap dari limbah cair industry tahu tempe Rizky adalah sebesar 25.94%. Hal ini juga terjadi pada sampel III sampai dengan sampel V. Adanya perbedaan daya serap karbon aktif dalam limbah cair industri tahu tempe Sukamaju dan Rizky disebabkan oleh adanya perbedaan pH dari limbah cair kedua industri tersebut. Limbah cair industri tahu tempe Sukamaju memiliki pH adalah 7.3, sedangkan pH limbah cair industri tahu tempe Rizky adalah 4.8.

Hubungan daya serap karbon aktif dengan nilai BOD₅ dan COD dalam limbah cair industry tahu tempe Sukamaju dan Rizky dapat dilihat dalam Gambar 4.

Tabel 2 Daya Serap Karbon Aktif (%) Kayu Merbau Terhadap Parameter BOD₅ Dan COD Limbah Cair Industri Tahu Tempe Dengan Variasi Konsentrasi HCl

Sampel	Rizky		Sukamaju (SKMJ)	
	COD	BOD ₅	COD	BOD ₅
II. Karbon aktif yang diaktivasi fisik dengan pemanasan 700°C (tanpa HCl)	25.94	43.21	82.42	70.44
III. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 1M]	27.25	40.99	85.77	74.31
IV. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 2M]	47.08	50.86	86.94	73.20
V. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 3M]	53.19	51.36	87.76	75.69



Gambar 4 Daya serap Karbon Aktif Kayu Merbau (%) dengan variasi konsentrasi HCl terhadap Parameter BOD₅ dan COD.

Tabel 3. Daya Serap Karbon Aktif (%) Kayu Merbau terhadap parameter BOD₅ dan COD Dengan Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak	Rizky		Sukamaju (SKMJ)	
	BOD ₅	COD	BOD ₅	COD
30 menit	89.18	88.30	80.44	77.12
60 menit	37.36	34.91	42.22	36.41
90 menit	36.81	35.41	20.00	22.69
120 menit	40.11	39.88	39.78	55.38

Peningkatan konsentrasi HCl hingga 3M untuk mengaktifkan karbon aktif kayu merbau dapat meningkatkan atau menurunkan kadar BOD₅ dan COD dalam air limbah. Daya serap karbon aktif tertinggi atau penurunan kadar BOD₅ tertinggi pada limbah cair industri tahu tempe Sukamaju adalah sebesar 87.79% dengan penggunaan karbon aktif kayu merbau yang diaktivasi secara kimia dengan HCl 3M. Daya serap karbon aktif atau penurunan kadar COD tertinggi dalam limbah cair industri tahu tempe Sukamaju adalah sebesar 75.69% dengan penggunaan karbon aktif kayu merbau yang diaktivasi secara kimia dengan HCl 3M. Sedangkan daya serap karbon aktif tertinggi atau penurunan BOD₅ tertinggi pada limbah cair industri tahu tempe Rizky adalah sebesar 51.36% dengan

penggunaan karbon aktif kayu merbau yang diaktivasi secara kimia dengan HCl 3M. Daya serap karbon aktif tertinggi atau penurunan kadar COD tertinggi dalam limbah cair industri tahu tempe Rizky adalah sebesar 53.18% dengan penggunaan karbon aktif kayu merbau yang diaktivasi secara kimia dengan HCl 3M.

Variasi Waktu Kontak Karbon Aktif Dengan Limbah Cair

Karakteristik limbah cair industri tahu tempe Rizky dan Sukamaju setelah penggunaan karbon aktif kayu merbau atau setelah adsorpsi diketahui dari besarnya daya serap karbon aktif kayu merbau atau penurunan kadar BOD₅ dan COD dalam limbah cair kedua industri tahu tempe

tersebut. Hal ini dapat dilihat dalam Tabel 3.

Semakin lama waktu kontak karbon aktif dengan limbah cair industry tahu tempe Rizky dan Sukamaju, maka daya serap karbon aktif tersebut akan semakin menurun (Tabel 3). Namun daya serap karbon aktif meningkat kembali dengan penambahan waktu kontak. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki titik jenuh adsorpsi dan bersifat sementara. Waktu kontak 90 menit merupakan waktu kontak dengan daya serap karbon aktif terendah atau saat 90 menit karbon aktif mengalami titik jenuh adsorpsi. Setelah jenuh, karbon aktif menunjukkan peningkatan daya serapnya saat waktu kontak 120 menit.

Variasi Volume Limbah Cair Industri Tahu tempe Rizky Dan Sukamaju

Penurunan kadar BOD₅ dan COD dalam limbah cair industry tahu tempe setelah proses adsorpsi menunjukkan kemampuan karbon aktif kayu merbau dalam mengadsorpsi zat atau bahan organik. Untuk mengetahui besarnya daya serap karbon aktif ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Rendahnya daya serap karbon aktif kayu merbau dalam limbah cair industry tahu tempe Rizky disebabkan oleh tingginya suhu limbah cair tersebut, yaitu sebesar 34°C. Hal ini sesuai dengan Sulistyani *et al.* 2013 bahwa salah satu factor yang dapat mempengaruhi adsorpsi karbon aktif adalah suhu. Dimana semakin tinggi suhu maka karbon aktif semakin sulit menyerap zat atau bahan dalam limbah cair. Sebaliknya semakin rendah suhu maka karbon aktif semakin mudah menyerap zat atau bahan dalam limbah cair. Sedangkan suhu limbah cair

industry tahu tempe Sukamaju adalah 29°C sehingga adsorpsi karbon aktif pada limbah cair tersebut menjadi maksimal.

Pengaruh Metode Aktivasi Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar BOD₅ dan COD Limbah Cair Industri Tahu Tempe Rizky dan Sukamaju

Kadar BOD₅ dan COD limbah cair industry tahu tempe Sukamaju sebelum proses adsorpsi adalah masing-masing sebesar 362 mg/l dan 1462 mg/l. setelah proses adsorpsi dengan metode aktivasi fisik, kadar BOD₅ dan CODnya menjadi sebesar 107 mg/l dan 257 mg/l. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah cair industry tahu tempe Sukamaju sebesar 70.44% dan 82.42%. Sedangkan kadar BOD₅ dan COD limbah cair industry tahu tempe Sukamaju setelah proses adsorpsi dengan metode aktivasi secara kimia dengan HCl 1M adalah sebesar 93 mg/l dan 208 mg/l. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah cair industry tahu tempe Sukamaju sebesar 74.31% dan 85.77%. Semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan maka penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah industry tahu tempe Sukamaju Semakin besar.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah cair industry tahu tempe Rizky dan Sukamaju lebih besar dengan menggunakan metode aktivasi secara kimia dengan HCl dibandingkan dengan metode aktivasi fisik. Hal ini disebabkan oleh HCl merupakan salah satu asam kuat yang mampu mengikat atau melarutkan zat-zat pengotor pada permukaan karbon aktif kayu merbau kemudian menguap

atau hilang selama proses pengabuan. Zat-zat pengotor tersebut dapat berupa tar, oksida logam dan mineral-mineral lainnya yang terbentuk selama proses karbonisasi. Oleh karena itu, permukaan karbon aktif kayu merbau

menjadi terbuka dan luas permukaan karbon aktif akan semakin besar sehingga kemampuan karbon aktif ini semakin besar untuk menyerap substrat baik berupa gas ataupun cairan.

Tabel 4 Pengaruh Volume Limbah Cair Terhadap Daya Serap (%) Karbon Aktif Kayu Merbau

Volume Limbah Cair	Rizky		Sukamaju (SKMJ)	
	BOD ₅	COD	BOD ₅	COD
100 ml	0.80	14.30	82.4	82.10
150 ml	28.60	10.90	53.2	30.80
200 ml	16.40	2.50	47.2	31.10
250 ml	60.60	25.50	45.2	34.80
300 ml	29.2	11.80	39	30.90

Tabel 5 Pengaruh Konsentrasi HCl Terhadap Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Kayu Merbau (mg/g)

Sampel	SKMJ		Rizky	
	Qe BOD ₅	Qe COD	Qe BOD ₅	Qe COD
II. Karbon aktif yang diaktivasi fisik dengan pemanasan 700°C (tanpa HCl)	51,000	241,000	35,000	95,040
III. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 1M]	53,800	250,800	33,200	99,840
IV. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 2M]	53,000	254,200	41,200	172,440
V. Karbon aktif yang diaktivasi dengan [HCl 3M]	54,800	256,600	41,600	194,840

Penggunaan metode aktivasi secara kimia dengan HCl 1M, 2M dan 3M juga memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah cair industry tahu tempe Rizky dan Sukamaju. Semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan maka penurunan kadar BOD₅ dan COD pada limbah cair kedua industry tahu tempe tersebut akan semakin besar dan penurunan tertinggi adalah dengan HCl 3M.

Tingginya penurunan kadar BOD₅ dan COD atau daya serap karbon aktif kayu merbau yang

diaktivasi HCl 3M menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar sehingga maksimal untuk mengadsorpsi BOD₅ dan COD dalam limbah cair industry tahu tempe. Luasnya permukaan karbon aktif ini dapat diketahui dari besarnya kapasitas adsorpsi yang dimiliki karbon aktif ini dalam mengadsorpsi zat atau substrat dalam limbah cair.

Kapasitas adsorpsi karbon aktif menunjukkan besarnya luasnya permukaan karbon aktif untuk menyerap zat atau substrat dan dengan penggunaan

HCl untuk mengaktifkan arang kayu merbau maka kapasitas adsorpsinya makin besar seiring dengan kenaikan konsentrasi HCl.

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi kayu merbau ditunjukkan dalam Gambar 5.

Secara umum semakin lama waktu kontak yang diberikan pada sampel maka kapasitas adsorpsi karbon aktif semakin menurun, namun kapasitas adsorpsi kembali naik pada waktu kontak tertentu. Kapasitas adsorpsi dengan waktu kontak 30 menit adalah kapasitas adsorpsi tertinggi kemudian makin menurun pada waktu kontak 60 dan 90 menit, namun pada waktu kontak 120 menit kapasitas adsorpsi kembali naik (Gambar 5).

Proses adsorpsi dengan waktu kontak 90 menit menunjukkan bahwa karbon aktif telah jenuh sehingga adsorpsinya sangat rendah. Namun, ikatan yang terjadi antara permukaan karbon aktif dan substrat lemah maka ikatan ini menjadi terlepas kembali sehingga permukaan karbon aktif yang tadinya terikat substrat menjadi kosong. Semakin lama waktu kontak yang diberikan pada karbon aktif dan limbah cair maka kesempatan substrat untuk kembali terikat semakin besar sehingga kapasitas adsorpsi karbon aktif kembali meningkat. Ini sesuai dengan pernyataan Suyata (2009) yang menyatakan bahwa peristiwa adsorpsi pada arang aktif terjadi karena adanya Gaya Van Der Waals, yaitu gaya tarik-menarik intermolekular antara molekul padatan dengan solute yang diadsorpsi lebih besar daripada gaya tarik-menarik sesama solute itu sendiri didalam larutan, maka solute akan terkonsentrasi pada permukaan padatan. Hal tersebut

didukung oleh pernyataan Notodarmojo (2005) bahwa proses adsorpsi pada zat organik merupakan adsorpsi fisik dan didominasi oleh Gaya Van Der Waals yang mempunyai ikatan yang lemah sehingga bersifat *reversible* atau dapat terlepas kembali.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi Optimum Karbon Aktif Kayu Merbau

Secara umum terlihat bahwa semakin besar volume limbah yang diserap/ di adsorpsi kadar BOD₅ dan COD limbah cair industry tahu tempe Rizky dan Sukamaju, maka kapasitas adsorpsi karbon aktif semakin besar.

Hubungan volume limbah cair industry tahu tempe Rizky dengan besarnya kapasitas adsorpsi karbon aktif dalam menyerap BOD₅ dan COD disajikan dalam Gambar 6.

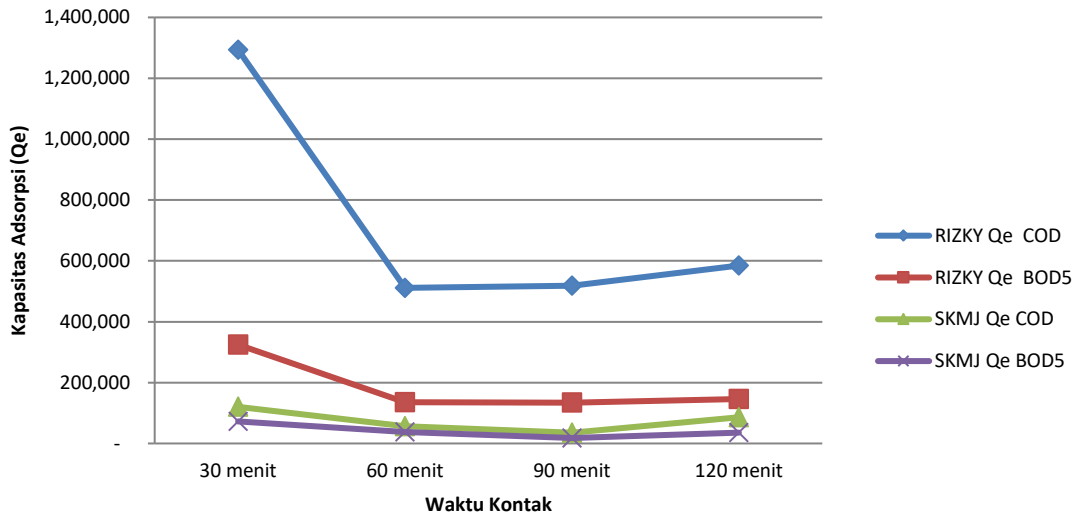
Kapasitas adsorpsi maksimum dari karbon aktif dalam menyerap COD maksimal pada penggunaan limbah cair industry tahu tempe Rizky adalah pada volume 250 ml, sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum dari karbon aktif dalam menyerap BOD₅ limbah cair industry tersebut adalah pada volume 300 ml.

Tingginya kapasitas adsorpsi karbon aktif dalam menyerap COD ini menyebabkan daya serap karbon aktif (%) menjadi maksimal, yaitu 25.50%. Namun, pada volume limbah 300 ml yang kapasitas adsorpsinya maksimum menyerap BOD₅ limbah cair industry tahu tempe Rizky menghasilkan daya serap yang minimum, yaitu 29.2%. Hal ini disebabkan oleh pada volume limbah 250 ml telah terjadi adsorpsi BOD₅ maksimal dari karbon aktif kayu merbau sebesar 60.60% sehingga saat penambahan volume limbah menjadi 300 ml, daya serap karbon aktif menurun.

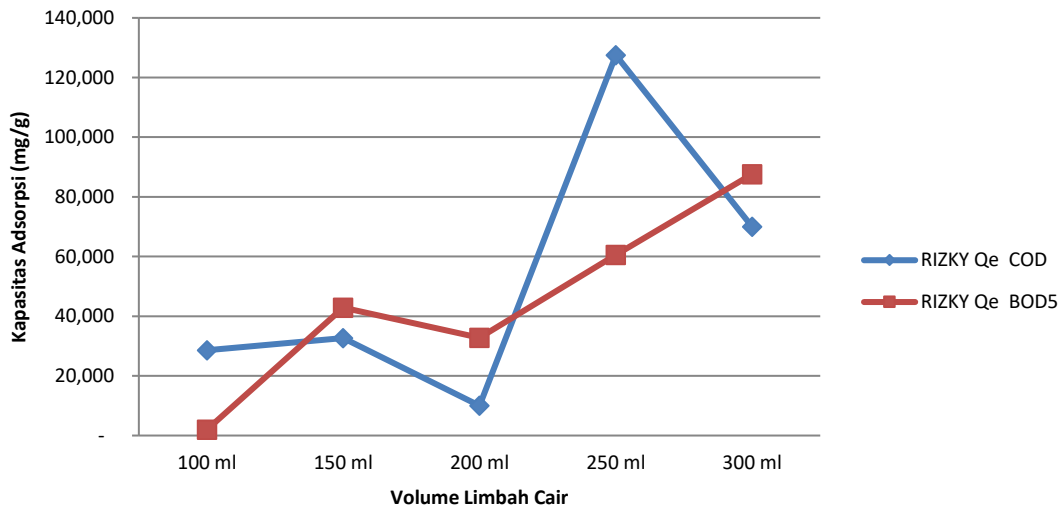
Hubungan volume limbah cair industry tahu tempe Sukamaju dengan besarnya kapasitas adsorpsi karbon aktif dalam menyerap BOD₅ dan COD disajikan dalam Gambar 7.

Peningkatan volume limbah cair industry tahu tempe Sukamaju dapat

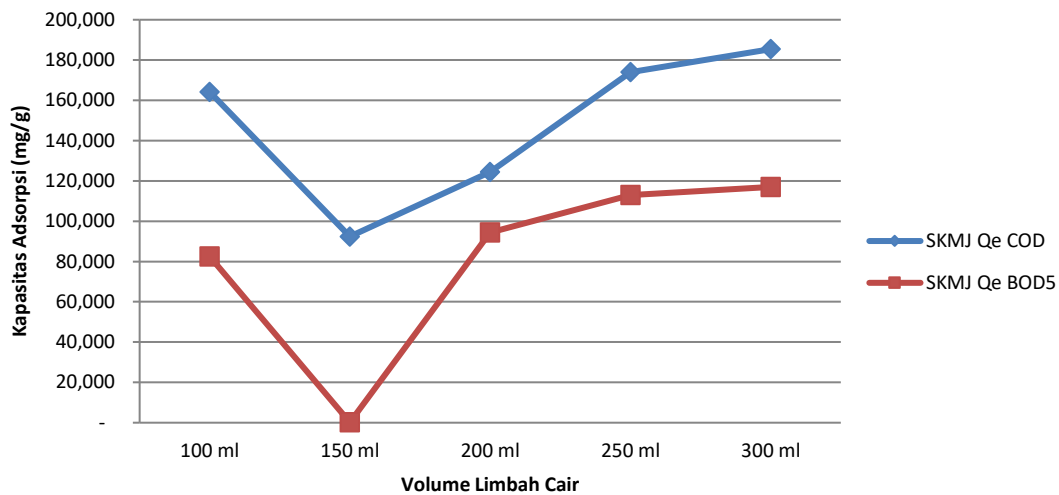
meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif kayu merbau tetapi daya serap karbon aktifnya semakin menurun. Daya serap karbon aktif sudah tidak dapat maksimum seperti daya serap karbon aktif pada volume limbah 100 ml.



Gambar 5 Kurva pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi



Gambar 6 Kurva hubungan volume limbah cair industry tahu tempe Rizky dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif kayu merbau



Gambar 7 Kurva hubungan volume limbah cair industry tahu tempe Sukamaju dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif kayu merbau.

Hasil diatas dapat disimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau untuk menyerap BOD₅ dan COD limbah cair industry tahu tempe Rizky adalah pada volume limbah 250 ml, yaitu masing-masing sebesar 60,600 mg/g dan 127,500 mg/g. Kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau untuk menyerap atau menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah cair industry tahu tempe Sukamaju adalah pada volume limbah 100 ml, yaitu masing-masing sebesar 82,400 mg/g dan 164,200 mg/g.

KESIMPULAN

1. Konsentrasi optimum HCl yang digunakan untuk mengaktivasi arang kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah rganic industri tahu tempe adalah HCl 3 M.
2. Waktu kontak optimum karbon aktif kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organic industri tahu tempe adalah 30 menit.

3. Kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organic tahu tempe adalah :
 - a. Kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organic industri tahu tempe Rizky masing-masing adalah 60,600 mg/g dan 127,500 mg/g pada volume limbah cair 250 ml.
 - b. Kapasitas adsorpsi optimum karbon aktif kayu merbau dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD limbah organic industri tahu tempe Sukamaju masing-masing adalah 82,400 mg/g dan 164,200 mg/g pada volume limbah cair 100 ml.

SARAN

1. Pemilik industri tahu tempe diharapkan dapat mempertimbangkan cara pengolahan limbah cairnya menggunakan metode karbon aktif khususnya karbon aktif kayu merbau.

2. Pemerintah Kabupaten Manokwari dalam hal ini Dinas Lingkungan Hidup dapat mempertimbangkan alternatif cara pengolahan limbah cair industri tahu tempe dengan metode karbon aktif ini.
3. Penelitian lanjutan dengan memvariasikan berat karbon aktif yang digunakan untuk menurunkan kadar BOD₅ dan COD dalam limbah organik industri tahu tempe dan efisiensi karbon aktif dalam menurunkan kadar BOD₅ dan COD dalam limbah organik industri tahu tempe.

Sulistiyani E, Budi E dan Bakri F. 2013. Pengaruh temperatur terhadap adsorpsi karbon aktif berbentuk pellet untuk aplikasi filter air: Di dalam: Seminar Nasional Fisika; Universitas Negeri Jakarta, 1 Juni 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Endah N. 2005. Pengaruh konsentrasi activator Na₂SO₄ terhadap daya adsorpsi karbon aktif tempurung kelapa pada ion Cd²⁺: kasus Makassar [skripsi]. Makassar: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar.
- Laos E. Landiana, Masturi, Yulianti Ian. 2016. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri. SNF2016;5.
- Prastiwi A. Dini. 2014. Penggunaan ZnCl₂ sebagai activator karbon aktif dari limbah padat agar dan aplikasinya sebagai adsorben pada limbah cair industry tahu. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Sahara E, Sulihingtyas WD, Mahardika AS. I Putu. 2017. Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes erecta*) Yang Diaktivasi Dengan H₃PO₄. *Jurnal Kimia*, ISSN 1907-9850 11(1): 1-9.