Kementerian Perindustrian REPUBLIK INDONESIA

Web Jurnal:
http://ejournal.kemenperin.go.id/jli

Jurnal Litbang Industri

| p-ISSN: 2252-3367 | e-ISSN: 2502-5007 |

Penyerapan limbah cair amonia menggunakan arang aktif ampas kopi

Ammonia liquid waste removal using activated charcoal from coffee dregs

Fakhrul Aman*[1], Mariana[2,3], Mahidin[2,3], dan Farid Maulana[2]

[1] Program Post Graduate Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh 23111, Indonesia
[2] Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh 23111, Indonesia
[3] Pusat Penelitian Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh 23111, Indonesia
* e-mail : fakhruldini@gmail.com

INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:
Diterima:
13 Februari 2018
Direvisi:
22 Juni 2018
Diterbitkan:
28 Juni 2018

Kata kunci:
limbah cair industri pupuk;
ampas kopi;
karbon aktif;
bioadsorben;
bioadsorpsi.

Keywords:
fertilizer plant waste water;
coffee dregs;
activated carbon;
bioadsorbent;
bioadsorption.

ABSTRAK

Ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, penelitian mengenai penggunaan ampas kopi ini telah banyak dilakukan. Aceh merupakan suatu daerah produsen kopi, banyaknya jumlah warung kopi didaerah Aceh tentunya akan dengan mudah pula ampas kopi diperoleh. Penelitian ini menggunakan ampas kopi sebagai adsorben untuk penyerapan limbah amonia yang banyak ditemukan pada outlet limbah cair pabrik pupuk urea.Aktivasi adsorben dilakukan menggunakan HCl 0,1 M selama 48 jam dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada temperatur 400^{o}C selama 3,5 jam untuk meningkatkan kemampuan penyerapan adsorben. Berdasarkan analisa morfologi menggunakan SEM terlihat adanya penebalan pada dinding-dinding pori adsorben yang menandakan telah melekatnya amonia. Variabel berubah yang digunakan adalah lamanya waktu kontak dan jumlah massa adsorben. Dari pendekatan menggunakan isoterm Freundlich diperoleh R^2 sebesar 0,9316. Kapasitas adsorbsi yang paling tinggi diperoleh pada waktu kontak 120 menit dengan jumlah adsorben sebanyak 0,4 gram.

ABSTRACT

Coffee grounds can be utilized as adsorbents, research on the use of coffee grounds has been widely practiced. Aceh is an area of coffee producers, the number of coffee shops in the area of Aceh will certainly also easily obtained coffee grounds. This research used coffee waste as an adsorbent for absorption of ammonia waste found in urea fertilizer factory liquid waste outlet. Activation of adsorbent was carried out using HCl 0.1 M for 48 hours and continued with calcination at 400^{o}C for 3.5 hours to improve the ability adsorbent absorption. Based on morphological analysis using SEM, there is a thickening on the pores of the adsorbent wall which indicates the ammonia attachment. The changed variable used is the length of contact time and the amount of adsorbent mass. From approach using Freundlich isotherm obtained R^2 equal to 0.9316. The highest adsorption capacity was obtained at contact time of 120 minutes with an amount of adsorbent of 0.4 grams.

© 2018 Penulis. Dipublikasikan oleh Baristand Industri Padang. Akses terbuka dibawah lisensi CC BY-NC-SA

1. Pendahuluan

Industri pupuk urea merupakan salah satu industri yang berada di Provinsi Aceh, Kabupaten Aceh Utara. Produksi urea yang dihasilkan oleh PT PIM sebesar 1.725 ton/ hari, dengan perolehan limbah dapat mencapai 3967,5 m^3/hari. Berdasarkan hasil analisa awal limbah inlet Kolam Penampung dan Pengendalian Limbah (KPPL) menunjukkan bahwa kandungan limbah yang dihasilkan adalah amonia yang tinggi dalam limbah cair pabrik pupuk urea. Pembuangan limbah cair dengan konsentrasi amonia yang tinggi dapat merusak ekosistem air, seperti menyebabkan kematian organisme air. Oleh karena itu diperlukan pengolahan awal yang tepat untuk mengurangi dampak negatif yang disebabkan oleh limbah industri khususnya industri pupuk urea.

Pengolahan yang dilakukan oleh PT PIM berupa proses netralisasi dan aerasi. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh, pengolahan limbah dengan metode ini memberikan hasil di bawah baku mutu limbah industri pupuk yang terdapat pada Kepmen LH No. 122 Pupuk Tahun 2004 (Departemen K-3 & LH, PT PIM). Pengolahan ini dianggap belum cukup efektif dan aman untuk lingkungan khususnya dalam penanganan kandungan amonia yang tinggi dalam limbah cair. Aerasi yang dilakukan adalah untuk melepaskan sejumlah amonia dalam limbah ke udara. Walaupun kandungan amonia dalam air outlet KPPL berada di bawah baku mutu yang diizinkan, namun bila dibuang secara terus-menerus akan terakumulasi melebihi baku mutu terutama pada lokasi outlet KPPL sebelum terjadi penyebaran.

Dengan demikian diperlukan pengolahan tambahan seperti adsorpsi untuk menurunkan kadar amonia sehingga dampak yang terjadi pada outlet KPPL yang diakibatkan akumulasi kandungan amonia dapat dikurangi. Salah satu metode yang memungkinkan dilakukan untuk menanggulangi hal tersebut adalah dengan adsorpsi (Halim et al., 2013). Proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif merupakan penyerapan yang paling baik dibandingkan dengan metode kimia dan fisik lainnya dalam pengolahan air limbah dalam hal kemampuan menyerap berbagai jenis limbah secara efisien. Namun karbon aktif yang tersedia secara komersil saat ini dapat diperoleh dengan biaya yang cukup mahal karena berasal dari bahan baku yang tidak dapat diperbaharui seperti batu bara (Tan et al., 2008).

Saat ini telah banyak dilakukan penelitian untuk menghasilkan karbon aktif yang dapat digunakan dalam penyisihan berbagai jenis pencemar menggunakan prekursor terbarukan dan murah terutama produk samping dari kegiatan industri dan pertanian (Tan et al., 2008). Penggunaan ampas kopi menjadi karbon aktif (Kyzas, 2012) sebagai biosorben dapat dilakukan mengingat sumber biosorben ini dapat dengan mudah ditemui di Provinsi Aceh. Minuman kopi merupakan salah satu minuman yang cukup banyak disukai oleh masyarakat Aceh.

Banyaknya jumlah keberadaan warung kopi yang dapat ditemui, banyak pula dihasilkan ampas kopi yang merupakan limbah. Kondisi ini yang mendasari penggunaan arang aktif ampas kopi sebagai biomaterial dalam penyisihan limbah amonia pada outlet pabrik pupuk urea. Pada penelitian digunakan ampas kopi sebagai adsorben dengan penambahan larutan asam sebagai aktivator yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa organik yang terlarut dan dapat meningkatkan kapasitas penyerapan (Wan Ngah et al., 2008).

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik arang aktif ampas kopi dan kemampuan penyerapan amonia oleh adsorben tersebut.

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Bahan yang digunakan diantaranya ampas kopi, larutan HCl, NH_4OH, gas N_2, $Na_2S_2O_3$, indikator amilum, aquadest, *filter paper* Whatman-41 dan aluminium foil.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya pH meter (Hanna Instruments), timbangan analitik (Shimadzu AW-220), s*tirrer plate* (Barnstead Thermolyne Cimarec), m*agnetic stirrer* (30 mm), oven dryer (Memmeth DIN 12880-KI), spektrofotometer UV-visible (Shimadzu), *muffle furnace* (isuzu EPTR-26R), instrumentasi penguji karakterisasi morfologi adsorben (scanning electron microscopy), instrumentasi *surface area analyzer* metode BET (Quantachrome Instrument version 11.0), *FTIR UV visible spectrophotometer* (Shimadzu UV-Pharmaspec 1700).

2.2. Proses karbonisasi arang aktif ampas kopi

Ampas kopi dicuci dengan air suling hangat untuk menghilangkan zat warna dan kotoran yang lengket. Kemudian dimasukkan ke dalam *muffle furnace* untuk proses karbonisasi ampas kopi yang dilakukan pada 400^oC selama 3,5 jam dengan N_2 *flow* 200 ml/menit. Setelah proses karbonisasi, dilakukan pengayakan untuk memperoleh ukuran yang homogen yaitu 100 mesh. Kemudian dilakukan pencucian dengan menggunakan HCl 0,1 M (Irmanto et al, 2010); (Alfiany et al, 2013) selama 120 menit pada *stirrer plate* dengan kecepatan putaran pengaduk 100 rpm (rotasi per menit). Dilakukan pencucian kembali dengan menggunakan aquadest hingga diperoleh pH filtrat netral. Ampas kopi ini kemudian dimasukkan ke dalam *oven dryer* pada temperatur 110^oC selama 12 jam. Arang aktif ampas kopi siap untuk digunakan.

2.3. Proses uji penyisihan amonia oleh arang aktif ampas kopi

Proses uji penyisihan amonia ini dilakukan dengan menggunakan *stirrer plate*. Larutan limbah amonia yang digunakan diperoleh dari KPPL PT PIM dan limbah amonia artificial yang diperoleh dengan mengencerkan larutan NH_4OH menggunakan aquadest dengan variasi konsentasi yang diinginkan. Dimasukkan sebanyak (0,2; 0,3; 0,4) gr arang aktif ampas kopi dengan 100 ml adsorbat. Diaduk dengan variasi waktu kontak antara adsorben dan adsorbat dengan kecepatan putran pengaduk 125 *revolutions perminute* (rpm), pada temperatur ruangan. Setelah mencapai waktu yang diinginkan, disaring dengan menggunakan kertas saring hingga filtrat jernih sehingga diperoleh cake dan filtrat. Filtrat yang diperoleh diuji dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Visible (Shimadzu), untuk mengetahui jumlah penyisihan amonia yang terjadi sedangkan cake yang diperoleh diuji menggunakan SEM untuk karakterisasi morfologi adsorben dan FTIR untuk mengidentifikasikan gugus fungsi pada cake.

2.4. Penggunaan analisis dari data untuk aplikasi

Studi penyisihan amonia oleh adsorben arang aktif ampas kopi dilakukan pada proses *batch*. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh data-data berupa kapasitas adsorpsi, isoterm adsorpsi serta kinetika adsorpsi. Sasaran dari desain penelitian ini adalah untuk

 http://dx.doi.org/10.24960/jli.v8i1.3685.47-52

mengurangi konsentrasi mula-mula amonia C_o menjadi C_t (mg/L) untuk jumlah volume total V (ml) adsorbat yang masuk. Dengan muatan dari kapasitas adsorpsi mula-mula q_o menjadi q_t (mg/gr) dan banyaknya adsorben m (gr).

Isoterm adsorpsi mengindikasikan bagaimana perpindahan molekul-molekul adsorbat dalam fase cair menuju/ berpindah kepada fase padat adsoben ketika proses adsorpsi mencapai kesetimbangan. Dari studi isoterm adsorpsi yang paling sering digunakan untuk memprediksikan ukuran adsorber dan performanya.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Karakterisasi arang aktif ampas kopi

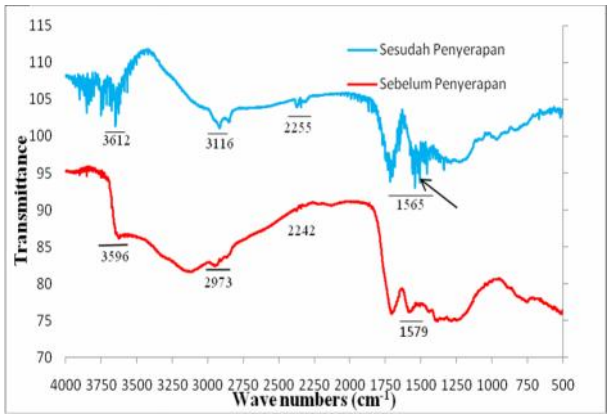
Jenis ampas kopi yang digunakan pada penelitian adalah kopi yang dijual pada umumnya. Ampas kopi diambil dari warung kopi yang ada di kota Banda Aceh. Untuk karakterisasi ampas kopi yang merupakan sumber arang aktif pada penelitian ini, ditabulasikan pada Tabel 1.

Tabel 1
Karakterisasi ampas kopi yang digunakan pada penelitian ini.

Parameter	Hasil Analisa	Syarat mutu arang aktif SNI No. 06-3730-1995
Rendemen	18,7	-
Kadar Air	6,38	Maksimal 15 %
Kadar Abu	1,05	Maksinal 2,5 %

3.2. Analisa FTIR adsorben arang aktif ampas kopi

Gambar 1 menunjukkan hasil dari analisa FTIR pada arang aktif ampas kopi sebelum dan setelah penyerapan mempunyai pola spektra yang hampir sama, akan tetapi terdapat perubahan dan terjadi pergeseran pita serapan pada masing-masing daerah setelah terjadi kontak dengan limbah amonia (Chen et al., 2017).

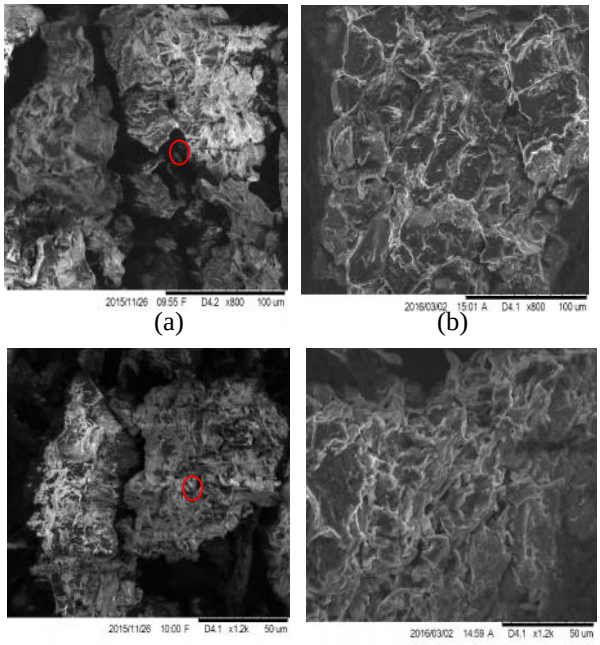


Gambar 1. Spektra *fourier transformation infrared spectroscopy* (FTIR) pada adsorben arang aktif ampas kopi.

Berdasarkan gambar diatas ikatan O-H asam karboksilat pada 3596 – 3612 cm^{-1}, C-H golongan alkana pada 2973 – 3116 cm^{-1}, N-H amina pada 1579 – 1622 cm^{-1}, ikatan – N=C=N pada 2242 – 2255 cm^{-1} dan terbentuknya gugus fungsi baru C-NO_2 pada adsorben yang telah digunakan untuk penyerapan amonia. Dengan analisa FTIR ini diketahui kelompok gugus pada molekul, yang berperan dalam memberi karakteristik pada molekul tersebut.

3.3. Karakteristik morfologi arang aktif kopi menggunakan analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Proses karakterisasi morfologi adsorben ini dilakukan dengan cara menganalisa adsorben sebelum dan sesudah proses adsorpsi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

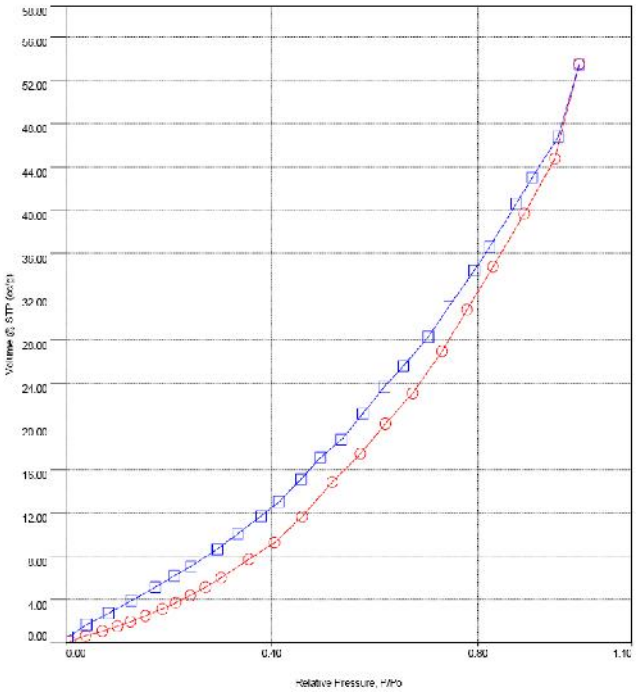


Gambar 2. (a) dan (c) Morfologi arang aktif ampas kopi sebelum penyerapan amonia. (b) dan (d) setelah digunakan untuk penyerapan amonia.

Dari Gambar 2 terlihat adanya perubahan karakteristik morfologi arang aktif ampas kopi sebelum dan sesudah penyerapan amonia dimana terlihat terjadi penebalan pada dinding-dinding pori adsorben yang telah digunakan pada penyerapan amonia.

3.4. Penentuan *surface area* dengan menggunakan metode BET (*Brunaeur-Emmet-Teller*)

Pengujian untuk mengetahui luas permukaan pori arang aktif ampas kopi dilakukan dengan uji BET. Dari pengujian diperoleh bahwa *surface area* arang aktif ampas kopi pada temperatur kalsinasi 400^oC sebesar 22,368 m^2/g (Gambar 3).

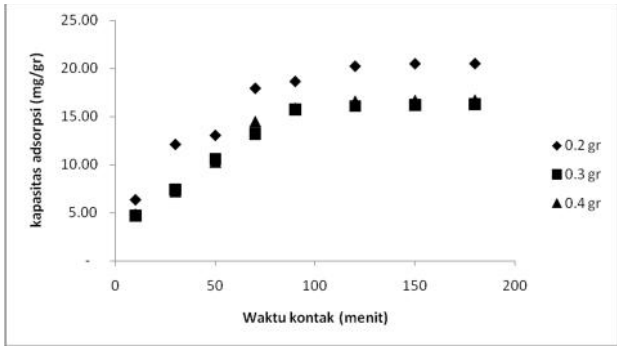


Gambar 3. *Surface Area* untuk arang aktif ampas kopi pada temperatur kalsinasi 400^{o}C.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa arang aktif ampas kopi memiliki luas permukaan yang layak untuk dijadikan absorben dan merupakan bahan penyerap yang baik.

3.5. Pengaruh waktu kontak dan jumlah adsorben terhadap kapasitas penyisihan amonia

Waktu kontak yang terjadi antara adsorbat yang berupa larutan artifisial dengan arang aktif ampas kopi sangat mempengaruhi proses penyerapan (biosorpsi).

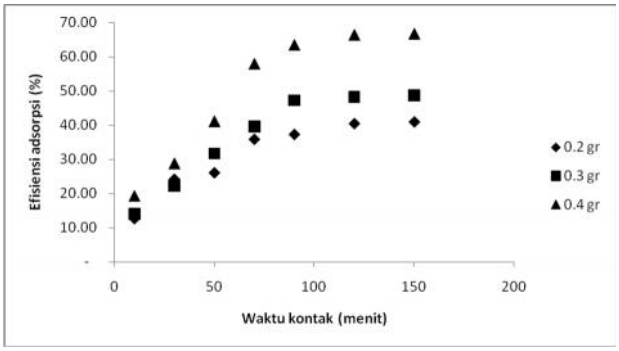


Gambar 4. Pengaruh waktu kontak dan massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi.

Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin lama waktu kontak antara adsorbat dan adsorben maka semakin tinggi pula amonia yang dapat diserap oleh adsorben. Waktu kontak antara adsorbat dan adsorben ini juga bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan adsorben dalam menyisihkan amonia secara maksimum hingga mencapai keadaan jenuhnya. Dari Gambar 4, terlihat bahwa adsorben mencapai keadaan jenuhnya pada menit ke-120, arang aktif sudah tidak dapat lagi menyerap limbah (pori-pori arang mengikat amonia pada konsentrasi optimum) (Pambayun et al., 2013). Konsentrasi mula-mula adsorbat yang tidak berubah, bila diberikan penambahan jumlah adsorben, maka akan diperoleh kapasitas penyerapan yang kecil, ini disebabkan terlalu banyak pori-pori yang kosong.

3.6. Pengaruh waktu kontak dan jumlah adsorben terhadap efisiensi adsorpsi

Waktu kontak yang terjadi antara adsorbat (larutan amonia) dengan adsorben sangat mempengaruhi proses penyerapan. Dari Gambar 5, terlihat bahwa semakin lama waktu kontak antara adsorbat dan adsorben maka semakin banyak pula amonia yang dapat diserap oleh adsorben. Waktu kontak antara adsorbat dan adsorben ini juga bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan adsorben dalam menyerap amonia secara maksimum hingga mencapai keadaan jenuhnya.



Gambar 5. Pengaruh waktu kontak dan jumlah adsorben terhadap efisiensi adsorpsi.

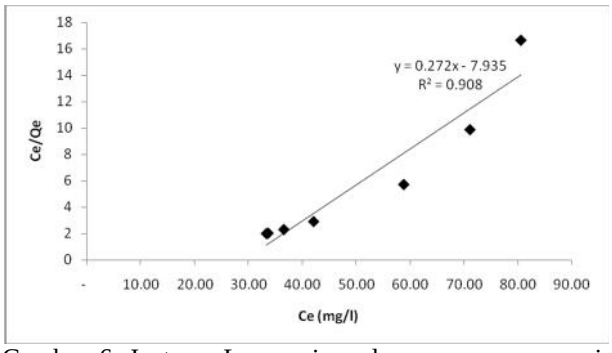
Penyerapan amonia oleh adsorben dengan jumlah adsorben 0,4 gram menghasilkan nilai efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi yaitu sebesar 66,6% bila dibandingkan dengan jumlah adsorben yang lain. Proses penyerapan adsorbat oleh adsorben berlangsung cepat sampai menit ke-90 dan amonia yang teradsorp terus meningkat. Akan tetapi setelah dikontakkan selama 120 menit efisiensi adsorpsi cenderung tidak terlalu banyak menyerap lagi. Hal ini disebabkan oleh semakin lama waktu kontak antara adsorbat dan adsorben maka pori-pori adsorben yang semula kosong akan terisi penuh sehingga menyebabkan jumlah adsorbat yang teradsorp oleh adsorben pada waktu tertentu akan mulai memasuki keadaan statis atau dengan peningkatan yang relatif rendah. Diperoleh proses adsorpsi paling optimum yaitu pada waktu kontak selama 120 menit.

3.7. Isoterm adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan suatu hal yang fundamental untuk dapat menentukan kapasitas maksimum dari adsorben, yaitu dengan melihat fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Isoterm adsorpsi ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antara adsorben dan zat yang teradsorp dalam suatu kesetimbangan (Hasriati, 2012); (Ma'rifat et al., 2014). Untuk menentukan isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi amonia menggunakan adsorben ampas kopi, dilakukan perhitungan terhadap dua model isoterm adsoprsi yaitu Langmuir dan Freundlich (Agarwal et al.,

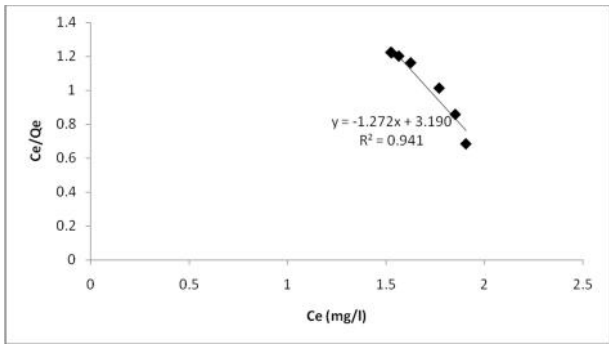
http://dx.doi.org/10.24960/jli.v8i1.3685.47-52

2014). Isoterm adsorpsi Langmuir amonia diperoleh dengan cara membuat kurva hubungan antara konsentrasi kesetimbangan dalam fasa cair (Ce) terhadap konsentrasi kesetimbangan fasa padat (Ce/q_e). Grafik persamaan isoterm arang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Isoterm Langmuir pada penyerapan amonia dengan massa adsorben sebanyak 0,4 gr.

Dengan menggunakan pendekatan persamaan linier dari grafik isoterm Langmuir dan Freundlich, dapat diketahui kapasitas adsorpsi dari adsorben ampas kopi. Penentuan isoterm adsorpsi Freundlich diperoleh dengan membuat hubungan antara log Ce dengan log Qe, yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Isoterm Freundlich pada penyerapan amonia dengan massa adsorben sebanyak 0,4 gr.

Isoterm Freundlich menggambarkan hubungan antara sejumlah komponen yang teradsorpsi per unit adsorben dan konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (Apriliani, 2010). Adapun nilai kapasitas adsorpsi dan konstantanya pada masing-masing model isoterm dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.
Isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

Komponen	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	q_m	K_L	R^2	n	K_F	R^2
Amonia	3,43 mg/g	3,08 x 10^{-2}	0,9087	1,053	2398,83	0,941

Penentuan isoterm adsorpsi Langmuir maupun Freundlich diketahui dengan cara melihat nilai R^2. Isoterm adsorpsi amonia dengan menggunakan adsorben ampas kopi dengan massa adsorben sebanyak 0,4 gr mengikuti persamaan yang mempunyai nilai korelasi R^2 mendekati 1, dimana berdasarkan tabel 3, penyerapan oleh arang aktif ampas kopi ini mengikuti pola pendekatan isoterm Freundlich dengan nilai R^2 adalah 0,941.

Persamaan isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa situs-situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben adalah heterogen, dimana situs aktif, energi dan jenis ikatan yang terjadi adalah tidak sama. Dan adsorpsi terjadi secara multilayer pada permukaan adsorben. Isoterm Freundlich menganggap bahwa pada semua sisi permukaan adsorben akan terjadi proses adsorpsi di bawah kondisi yang diberikan. Isoterm Freundlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi pada saat kesetimbangan tercapai dan hanya ada beberapa sisi aktif saja yang mampu mengadsorpsi molekul terlarut (Apriliani, 2010).

Pola isoterm Freundlich mengamsusikan bahwa interaksi yang terjadi adalah secara fisika dan menjelaskan bahwa tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda, dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi yang sama (Ma'rifat et al., 2014). Sehingga dapat digambarkan bahwa adsorpsi yang terjadi amonia pada permukaan arang akif ampas kopi memiliki ikatan yang lemah dan heterogen karena permukaan adsorben yang kurang seragam.

4. Kesimpulan

Maraknya warung kopi yang ada dikota Banda Aceh, membuat limbah ampas kopi sangat mudah diperoleh dan banyak dihasilkan. Penggunaannya sebagai bahan penyerap yang mudah ditemui, murah dikarenakan ekses dari produksi kopi, namun memiliki kapasitas penyerapan yang cukup baik terhadap limbah yang banyak ditemui dilingkungan.

Penambahan larutan HCl pada pembuatan arang aktif ampas kopi bertujuan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi arang aktif (aktivasi). Waktu kontak dan jumlah adsorben yang digunakan, mempengaruhi kapasitas penyerapan amonia oleh adsorben.

Berdasarkan hasil uji SEM, diketahui karakterisasi morfologi dan ukuran pori dari biosorben arang aktif ampas kopi. Terlihat adanya penebalan pada dinding-dinding pori adsorben setelah dilakukan kontak antara adsorben dan adsorbat.

Dari uji analisa FTIR diketahui adanya penambahan dan kehilangan gugus fungsi pada biosorben arang aktif ampas kopi. Kehilangan gugus N-H (1575-1650) cm^{-1} dan penambahan gugus fungsi NO_2 (1550-1570) cm^{-1}, dikarenakan adanya proses oksidasi limbah amonia menjadi nitrit. Penyerapan amonia mengikuti pola isoterm Freundlich dengan nilai R^2 diperoleh 0,941.

Ucapan terima kasih

Dalam menyelesaikan dan menyusun jurnal ini kami mengucapkan terima kasih kepada, Ibu Dr. Ir. Mariana, M.Si dan Bapak Dr. Syahiddin D.S, M.Sc selaku Pembimbing. Ibu Prof. Dr. Husni Husin, MT, Ibu Dr. Sri Mulyati, ST, MT dan Bapak Dr. Faisal, M.Sc selaku penguji, serta seluruh dukungan dari MTK 2012 Unsyiah.

Daftar pustaka

Agarwal, A. K., Kadu, M. S., Pandhurnekar, C. P., & Muthreja, I. L., 2014. Langmuir , Freundlich and BET adsorption isotherm studies for zinc ions onto coal fly ash. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Managemen, 3(1), 64–71. Doi:10.1016/j.biortech.2004.10.021

Alfiany, H., Bahri, S., & Nurakhirawati., 2013. Kajian penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai adsorben logam pb dengan beberapa aktivator asam. Jurnal Natural Science Vol. 2 (3) : 75-86 Desember 2013 ISSN: 2338-0950, 2(3), 75–86.

Apriliani, A., 2010. Pemanfaatan arang ampas tebu sebagai adsorben ion logam Cd , Cr , Cu DAN Pb dalam air limbah. Skirpsi.

Aznar, J. S., 2011. Characterization of activated carbon produced from coffee residues by chemical and physical activation. KTH, School of Chemical Science and Engineering. Stockholm, Sweden., March, 14–28.

Chen, Q., Zhou, K., Chen, Y., Wang, A., & Liu, F., 2017. Removal of ammonia from aqueous solutions by ligand exchange onto a Cu(II)-loaded chelating resin: kinetics, equilibrium and thermodynamics. RSC Adv., 7(21), 12812–12823. Doi:10.1039/C6RA28287C

Halim, A. A., Latif, M. T., & Ithnin, A., 2013. Ammonia removal from aqueous solution using organic acid modified activated carbon. World Applied Sciences Journal, 24(1), 1–6. Doi:10.5829/idosi.wasj.2013.24.01.7454

Hasriati., 2012. Adsorpsi ion Cd^{2+} dan Cr^{2+} pada Limbah cair menggunakan kulit singkong. Universitas Hasanuddin, Makasar, 1–13.

Irmanto, & Suyata., 2010. Optimasi penurunan nilai bod, cod dan tss limbah cair industri tapioka menggunakan arang aktif dari ampas kopi. Molekul E-ISSN:2502-5007, Jurnal Ilmiah Kimia, Univ. Jenderal Soedirman, Indonesia, 6(3).

Kyzas, G. Z., 2012. Commercial coffee wastes as materials for adsorption of heavy metals from aqueous solutions. Materials, 5(10), 1826–1840. Doi:10.3390/ma5101826

Ma'rifat, Didik K., & Khamidinal., 2014. Sintesis zeolit dari abu dasar batu bara dan aplikasinya sebagai adsorben logam merkuri (II). Molekul, Vol. 9. No. 1. Mei, 2014: 73 - 83, (II).

Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoellah, M., Putri, E. M. M., Kimia, J. T., & Industri, F. T., 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator zncl2 dan na2co3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. Jurnal Teknik Pomits Vol. 2 No.1 ISSN 2337-3539, 2(1).

Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., & Hameed, B. H., 2008. Preparation of activated carbon from coconut husk: Optimization study on removal of 2,4,6-trichlorophenol using response surface methodology. Journal of Hazardous Materials, 153(1–2), 709–717. Doi:10.1016/j.jhazmat.2007.09.014

Wan Ngah, W. S., & Hanafiah, M. A. K. M., 2008. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. *Bioresource Technology*, *99*(10), 3935–3948. Doi:10.1016/j.biortech.2007.06.011

 http://dx.doi.org/10.24960/jli.v8i1.3685.47-52