

PENGARUH ADSORPSI BESI (Fe) TERHADAP MORFOLOGI ADSORBEN

Mycelia Paradise¹, Yudha Agung Pratama², Faisal Mukarrom¹, Triyono¹

¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

² Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Korespondensi : mycelia@itny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses adsorpsi terhadap morfologi adsorben yang terdiri dari campuran claystone, zeolit, dan arang aktif tempurung kelapa dalam mengadsorpsi ion Fe dari air asam tambang. Proses adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* menggunakan *hotplate stirrer* pada skala laboratorium. Metode eksperimental diterapkan untuk mengevaluasi karakterisasi morfologi permukaan adsorben sebelum dan setelah proses adsorpsi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan perubahan signifikan pada morfologi permukaan adsorben setelah proses adsorpsi, yang diindikasikan oleh perbedaan struktur dan topografi adsorben.

Kata kunci: adsorben; adsorpsi; Fe

ABSTRACT

This research aims to analyze the effect of the adsorption process on the morphology of adsorbents consisting of a mixture of claystone, zeolite, and activated coconut shell charcoal in adsorbing Fe ions from acid mine drainage. The adsorption process was carried out in a batch system using a hotplate stirrer on a laboratory scale. The experimental method was applied to evaluate the characterization of the adsorbent surface morphology before and after the adsorption process using a Scanning Electron Microscope (SEM). The research results showed significant changes in the adsorbent surface morphology after the adsorption process, indicated by differences in the structure and topography of the adsorbent.

Keywords: adsorbent; adsorption; Fe

PENDAHULUAN

Metode adsorpsi adalah metode yang efektif untuk menghilangkan kontaminan dari limbah cair karena efisiensinya yang tinggi, operasi yang mudah, biaya yang terjangkau, dan adsorben yang dapat didaur ulang [4]. Kapasitas dan efisiensi adsorpsi sebagian besar ditentukan oleh morfologi dan sifat permukaan adsorben. Morfologi adsorben, seperti luas permukaan, struktur pori, dan gugus fungsional permukaannya, memainkan peran penting dalam proses adsorpsi. Luas permukaan yang tinggi dan struktur berpori dari adsorben dapat menyediakan lebih banyak situs adsorpsi dan memfasilitasi transfer massa molekul adsorbat ke bagian dalam adsorben, yang mengakibatkan kapasitas adsorpsi menjadi lebih tinggi [10]. Kehadiran gugus fungsional pada permukaan adsorben juga dapat meningkatkan afinitas adsorpsi terhadap polutan tertentu melalui berbagai mekanisme. *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan analisis Brunauer-Emmett-Teller umumnya digunakan untuk mengkarakterisasi morfologi dan sifat permukaan adsorben. Kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk suhu, pH, konsentrasi polutan awal, dan keberadaan zat pengganggu lainnya [7], [8].

Proses adsorpsi memainkan peran penting dalam pengembangan dan optimasi adsorben. Memahami interaksi antara proses adsorpsi dan karakteristik morfologi adsorben sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja teknologi berbasis adsorpsi [3]. Adsorpsi adalah proses yang didorong oleh permukaan yang menggambarkan akumulasi zat terlarut tertentu di permukaan antara dua fase, padat dan cair atau gas [7]. Sifat fisik dan kimia dari adsorben, seperti luas permukaannya, distribusi ukuran pori, dan komposisi kimia, dapat mempengaruhi kapasitas dan selektivitas adsorpsi. Adsorpsi dapat diklasifikasikan sebagai adsorpsi fisik (fisisorpsi) atau adsorpsi kimia (kemisorpsi), tergantung pada sifat interaksi antara adsorben dan adsorbat [8].

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi pengaruh proses adsorpsi terhadap morfologi adsorben. Proses ini dapat menyebabkan perubahan pada struktur permukaan adsorben, distribusi ukuran pori, dan bahkan bentuk fisiknya secara keseluruhan [2]. Adsorpsi polutan dapat mengubah sifat permukaan dan struktur berpori adsorben, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kinerjanya dalam siklus adsorpsi berikutnya. Sebagai contoh, adsorpsi pewarna organik pada arang aktif dapat menyebabkan penyumbatan pori dan pengurangan luas permukaan, yang berujung pada penurunan kapasitas adsorpsi seiring waktu. Dampak dari proses adsorpsi terhadap morfologi adsorben tidak hanya terbatas pada modifikasi permukaan; proses ini juga dapat mempengaruhi struktur fisik keseluruhan adsorben. Misalnya, adsorpsi beberapa polutan pada permukaan adsorben dapat menyebabkan terbentuknya aglomerat atau keruntuhan struktur berpori, sehingga mengubah luas permukaan keseluruhan dan kinerja adsorpsi [1], [7].

Sebagai kesimpulan, proses adsorpsi dan karakteristik morfologi adsorben memiliki hubungan yang erat, di mana keduanya saling mempengaruhi secara dinamis dan kompleks. Memahami interaksi ini sangat penting untuk merancang dan mengoptimalkan material adsorben secara rasional, sehingga dapat mendukung pengembangan teknologi berbasis adsorpsi yang lebih efisien dan selektif untuk berbagai aplikasi, seperti pengolahan air, pemurnian udara, dan katalisis [1], [2], [7], [9], [10], [11].

METODE PENELITIAN

Alat Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Scanning Electron Microscope (SEM) untuk analisis morfologi, *hot plate stirrer* untuk proses adsorpsi, gelas ukur, gelas beaker 500 ml, oven, furnace, neraca analitik, kertas saring whatman No. 41, air asam tambang dari penambangan batubara, adsorben berukuran 100 mesh yang terdiri dari campuran claystone, zeolit, dan arang aktif tempurung kelapa.

Tahapan penelitian:

1. Persiapan Adsorben

Mencampurkan adsorben yang terdiri dari claystone, zeolit, dan arang aktif dengan perbandingan 25:25:50 kemudian dihomogenisasi. Setelah itu, campuran dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kelembapan.

2. Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch*. Sebanyak 250 ml air asam tambang dengan konsentrasi Fe 13 ppm dimasukkan ke dalam *beaker glass*, ditambahkan 2,5 gram adsorben. Campuran diaduk dengan kecepatan tetap 300 rpm menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu kamar selama periode waktu yang bervariasi (30, 60, 90, 120, dan 150 menit). Setelah proses adsorpsi selesai, sampel diambil dan dipisahkan dari adsorben dengan kertas saring whatman.

3. Analisis Konsentrasi Fe

Konsentrasi ion Fe diukur menggunakan spektrofotometer dengan metode SNI 6989.4:2009. Pengurangan konsentrasi Fe sebelum dan setelah proses adsorpsi dihitung untuk menentukan efisiensi adsorpsi.

4. Karakterisasi Morfologi

Morfologi permukaan adsorben sebelum dan setelah proses adsorpsi dianalisis menggunakan SEM. Sampel adsorben yang telah disiapkan dikeringkan dan kemudian dipreparasi sebelum diamati di bawah SEM untuk mengevaluasi perubahan struktur dan topografi.

HASIL DAN ANALISIS

Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Adsorben

Hasil adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan menggunakan alat *hot plate stirrer* dengan kecepatan 300 rpm. Setelah proses adsorpsi selesai, dilakukan uji *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).



Gambar 2. Proses adsorpsi menggunakan *hot plate stirrer*

Berdasarkan hasil uji Fe setelah adsorpsi menggunakan alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dengan metode SNI 6989.4:2009, diperoleh hasil seperti pada tabel 1 .

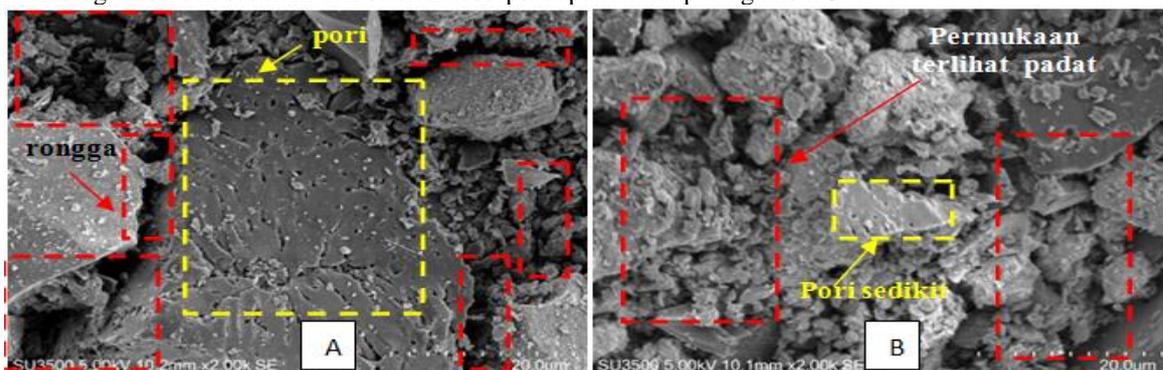
Tabel 1. Konsentrasi Fe setelah adsorpsi (dalam ppm)

| Massa adsorben | 30 menit | 60 menit | 90 menit | 120 menit | 150 menit |
|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| 2,5 gram | 0,1484 | 0,1998 | 0,3114 | 0,0988 | 0,0510 |
| 5 gram | 0,0456 | 0,1573 | 0,0350 | 0,0882 | 0,0988 |
| 7,5 gram | 0,0510 | 0,2902 | 0,1520 | 0,0563 | 0,0775 |

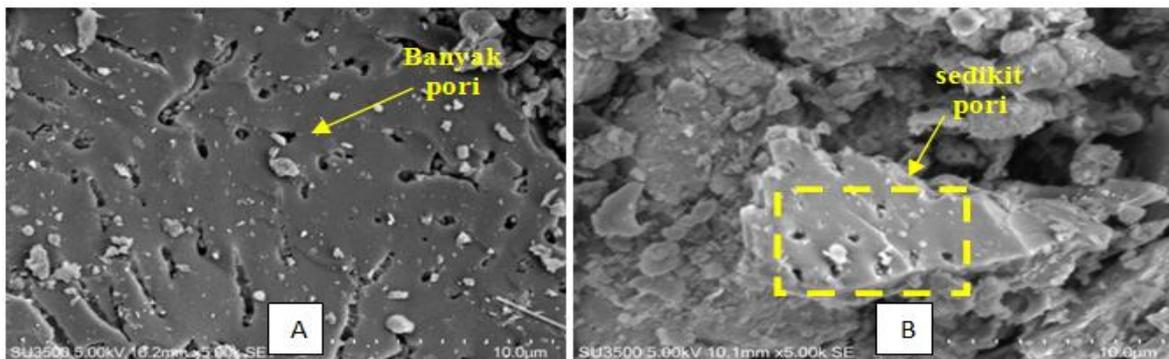
Adsorben memiliki kemampuan menurunkan Fe dalam air asam tambang dengan efektivitas mencapai 99,35% sehingga Fe memenuhi baku mutu menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara yang mensyaratkan kadar maksimum besi total adalah 7 mg/l.

Morfologi adsorben

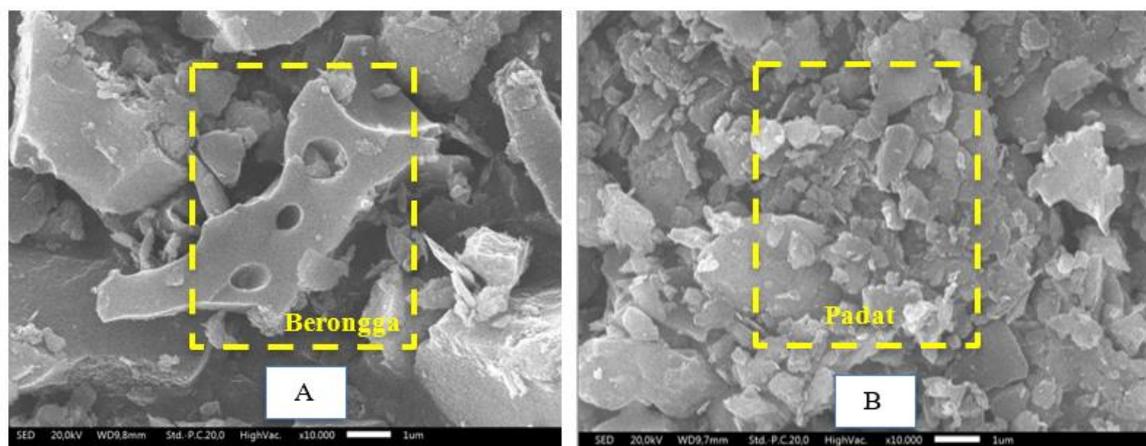
Morfologi adsorben sebelum dan setelah adsorpsi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Morfologi permukaan komposit pada perbesaran 2.000x a)sebelum adsorpsi dan b)setelah adsorpsi



Gambar 4. Morfologi permukaan komposit pada perbesaran 5.000x a)sebelum adsorpsi dan b)setelah adsorpsi



Gambar 5. Morfologi permukaan komposit pada perbesaran 10.000x a)sebelum adsorpsi dan b)setelah adsorpsi

Hasil analisis morfologi permukaan adsorben menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) menunjukkan perubahan yang signifikan sebelum dan setelah proses adsorpsi ion Fe. Gambar-gambar SEM diambil pada berbagai perbesaran untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang struktur permukaan adsorben.

Pada gambar SEM sebelum adsorpsi pada berbagai perbesaran, terlihat bahwa partikel adsorben memiliki struktur yang kasar dengan ukuran partikel yang cukup besar. Permukaan partikel tampak tidak homogen, menunjukkan adanya berbagai ukuran dan bentuk fragmen. Hal ini menunjukkan bahwa material adsorben seperti claystone, zeolit, dan arang aktif belum mengalami proses perubahan signifikan karena belum melalui proses adsorpsi. Struktur berpori juga dapat diamati, yang memungkinkan interaksi dengan zat adsorbat (dalam hal ini ion Fe dari air asam tambang). Pada perbesaran 5.000 kali, tampak lebih jelas bahwa permukaan adsorben memiliki pori-pori dan rongga yang banyak. Hal ini merupakan ciri khas dari material berpori seperti zeolit dan arang aktif yang berfungsi sebagai area aktif untuk proses adsorpsi. Adanya pori-pori yang bervariasi ukuran juga menunjukkan potensi kapasitas adsorpsi yang besar terhadap kontaminan seperti ion Fe. Fragmen yang lebih kecil pada perbesaran 10.000 kali mulai terlihat, menandakan heterogenitas ukuran partikel adsorben.

Setelah proses adsorpsi, terlihat bahwa permukaan adsorben mengalami penyumbatan pori dan perubahan tekstur. Beberapa pori pada arang aktif tampak terisi dengan partikel Fe, menunjukkan interaksi yang terjadi selama proses adsorpsi. Pada perbesaran 2.000 kali, gambar SEM menunjukkan penumpukan partikel Fe yang lebih jelas, dengan banyaknya agregat yang terbentuk di atas permukaan adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi tidak hanya mengubah struktur permukaan, tetapi juga meningkatkan kerapatan partikel pada adsorben. Analisis lebih lanjut memperlihatkan bahwa morfologi permukaan adsorben yang terdegradasi setelah proses adsorpsi terlihat lebih jelas. Terdapat area yang menunjukkan perubahan bentuk dan kehilangan

struktur asli adsorben. Rongga-rongga yang sebelumnya terlihat jelas pada morfologi sebelum adsorpsi, kini tampak tertutup, mengindikasikan penyerapannya oleh ion Fe.

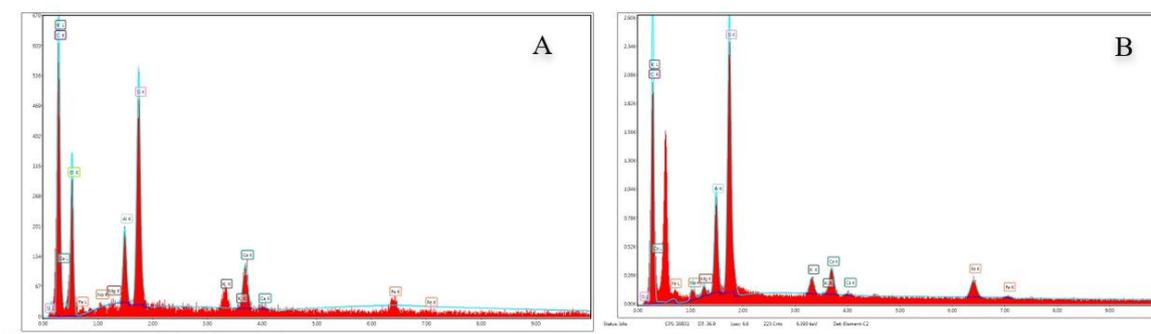
Pada perbesaran 5.000 kali, gambar SEM adsorben setelah adsorpsi menunjukkan adanya perubahan signifikan pada struktur permukaan. Terlihat lebih banyak material halus menempel di permukaan partikel adsorben, yang kemungkinan adalah ion Fe yang berhasil teradsorpsi. Fragmen terlihat lebih padat dan celah antar partikel tampak mulai tertutup oleh lapisan halus. Sebelum adsorpsi, permukaan partikel tampak lebih kasar dan lebih longgar. Ada lebih banyak celah dan ruang antar partikel, memberikan ruang untuk ion Fe untuk diserap. Setelah adsorpsi, partikel tampak lebih padat karena ion Fe dari air asam tambang telah menempel di permukaan.

Pada perbesaran 10.000 kali, pori-pori dan struktur mikropori adsorben mulai terisi oleh material adsorbat. Struktur partikel terlihat lebih halus dan beberapa pori tampak tertutup. Ini menunjukkan bahwa ion Fe yang terdapat dalam air asam tambang sudah menempati area adsorptif pada permukaan dan di dalam pori-pori material.

Hal ini juga sesuai dengan penelitian peneliti sebelumnya. Perubahan morfologi yang diamati sebelum dan setelah proses adsorpsi menunjukkan dampak signifikan yang dapat ditimbulkan oleh proses adsorpsi terhadap material adsorben. Perubahan ini disebabkan oleh interaksi antara adsorben dan adsorbat, yang dapat menyebabkan penyumbatan pori, penutupan permukaan, serta pembentukan struktur yang lebih seragam dan padat [5], [8], [11], [12].

Analisis Energy Dispersive X-Ray (EDX)

Analisis lebih lanjut terkait adsorpsi ion Fe dari air asam tambang dilakukan menggunakan analisis EDX. Analisis ini digunakan untuk mendeteksi unsur-unsur dalam adsorben.



Gambar 6. Grafik EDX Adsorben A)sebelum dan B)setelah adsorpsi

Analisis EDX pada adsorben sebelum proses adsorpsi menunjukkan adanya unsur-unsur seperti C, O, Si, Fe dan Al. Intensitas puncak karbon dan oksigen yang tinggi mengindikasikan sifat organik dan anorganik dari adsorben tersebut. Setelah proses adsorpsi, analisis EDX menunjukkan adanya intensitas yang lebih tinggi terutama pada unsur Fe, pada permukaan adsorben. Peningkatan intensitas puncak besi menunjukkan keberhasilan adsorpsi ion Fe ke dalam adsorben selama proses adsorpsi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan dampak signifikan yang dapat ditimbulkan oleh proses adsorpsi terhadap morfologi dan komposisi elemental dari material adsorben [2], [5], [6], [9].

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa adsorben memiliki kemampuan yang sangat efektif dalam menurunkan kadar ion Fe dalam air asam tambang, dengan tingkat efektivitas mencapai 99,35% hingga memenuhi baku mutu. Analisis morfologi permukaan adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan perubahan yang signifikan sebelum dan setelah proses adsorpsi. Sebelum adsorpsi, permukaan adsorben terlihat kasar dan tidak homogen, dengan pori-pori yang memungkinkan interaksi dengan ion Fe. Setelah proses adsorpsi, terdapat indikasi penyumbatan pori dan penumpukan partikel Fe, yang menunjukkan keberhasilan adsorpsi dalam menyerap Fe.

Selanjutnya, analisis *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) mengonfirmasi keberhasilan adsorpsi ion Fe dengan meningkatnya intensitas puncak besi pada permukaan adsorben setelah proses adsorpsi. Hal ini menunjukkan

bahwa proses adsorpsi tidak hanya mempengaruhi struktur permukaan, tetapi juga komposisi elemental dari material adsorben.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Bapak Raymond dan Bapak Era yang telah memfasilitasi pengambilan sampel air asam tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chen Z, Hu L. Adsorption of naphthalene on clay minerals: a molecular dynamics simulation study. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 2022 Jul 23;15(15):5120. doi:10.3390/ma15155120.
- [2] Clément R, Fargier Y, Dubois V, Gance J, Gros E, Forquet N. OhmPi: an open source data logger for dedicated applications of electrical resistivity imaging at the small and laboratory scale. *Elsevier BV*. 2020 Oct 1;8:doi:10.1016/j.ohx.2020.e00122.
- [3] Direct air capture and mineral carbonation approaches for carbon dioxide removal and reliable sequestration. 2018 May 29. Available from: <https://doi.org/10.17226/25132>.
- [4] Dutta S, Gupta BR, Srivastava SK, Gupta AK. Recent advances on the removal of dyes from wastewater using various adsorbents: a critical review. *Royal Society of Chemistry*. 2021 Jan 1;2(14):4497-4531. doi:10.1039/d1ma00354b.
- [5] Florsch N, Muhlach F. An acquisition system designed for the electrical prospection of soil. *Elsevier BV*. 2018 Jan 1;157-180. doi:10.1016/b978-1-78548-199-4.50006-4.
- [6] Jessen F, Turan FH. Deflocculation of fractionated montmorillonite by sodium polyphosphates. *Society of Petroleum Engineers*. 1961 Dec 1;1(04):229-34. doi:10.2118/1510-g.
- [7] Ravindiran G, Ganapathy GP, Jegan J, Alagumalai A. A critical insight into biomass derived biosorbent for bioremediation of dyes. *Wiley*. 2019 Sep 4;4(33):9762-75. doi:10.1002/slct.201902127.
- [8] Ray SS, Gusain R, Kumar N. Adsorption in the context of water purification. *Elsevier BV*. 2020 Jan 1;67-100. doi:10.1016/b978-0-12-821959-1.00004-0.
- [9] Sharma A, Sharma D. Investigation in the removal of toxic pollutants from water. 2023 Aug 31;5(4). doi:10.36948/ijfmr.2023.v05i04.5923.
- [10] Singh N, Nagpal G, Agrawal S, Rachna. Water purification by using adsorbents: a review. *Elsevier BV*. 2018 Jun 2;11:187-240. doi:10.1016/j.eti.2018.05.006.
- [11] Williamson CJ, O'Brien P. Studies of the sorption of triethyl phosphate by ion-exchanged smectite clays. *Royal Society of Chemistry*. 1994 Jan 1;4(4):565. doi:10.1039/jm9940400565.
- [12] Zhi Y, Liu J. Adsorption of perfluoroalkyl acids by carbonaceous adsorbents: effect of carbon surface chemistry. *Elsevier BV*. 2015 Mar 29;202:168-76. doi:10.1016/j.envpol.2015.03.019.