



PENGARUH KARBON AKTIF BATUBARA SUB-BITUMINOUS DIAKTIVASI MENGGUNAKAN HNO₃ DAN C₆H₈O₇

The Effect of Active Carbon Sub-Bituminous Coal Activated Using HNO₃ and C₆H₈O₇

Kasturi, Saisa*, Zulhaini Sartika

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh, 23245
Indonesia

*Email: saisa@serambimekkah.ac.id

ABSTRAK

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan, salah satu faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi adalah luas permukaan (surface area). Pada penelitian ini digunakan adsorben biomassa berupa batubara sub-bituminous, untuk memperbesar luas permukaan dilakukan proses aktivasi. Aktivasi merupakan bagian dalam proses pembuatan adsorben biomassa yang bertujuan untuk memperbesar distribusi dan ukuran Pori serta memperbesar luas permukaan adsorben. Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben. Aktivasi fisika dan kimia dilakukan untuk melihat terbentuknya pori-pori baru pada karbon aktif yang telah di aktivasi, dengan terbentuknya pori-pori baru maka luas permukaan karbon aktif dapat meningkat setelah dilakukan proses aktivasi fisika kimia. Ukuran partikel hasil karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X menunjukkan hasil yang jelas dimana ukuran partikel setelah di aktivasi menurun, aktivasi asam sitrat memberikan nilai sebesar 3,3396 (Å) dan aktivasi asam nitrat sebesar 3,3188 (Å) sedangkan karbon aktif batubara sub-bituminous sebelum di aktivasi sebesar 4,2269 (Å).

Kata kunci: Biomassa, Batubara Sub-bituminous, Aktivasi, Asam nitrat, Asam Sitrat

ABSTRACT

Adsorption is an absorption process, one of the factors that influence adsorption power is surface area. In this study biomass adsorbent was used in the form of sub-bituminous coal, to enlarge the surface area carried out the activation process. Activation is part of the process of making biomass adsorbents which aims to enlarge the distribution and size of the pore and enlarge the surface area of the adsorbent. The wider the surface of the adsorbent, the more adsorbents can be absorbed, so that the adsorption process can be more effective. The smaller the size of the particle diameter, the more surface area of the adsorbent. Activation of physics and chemistry is done to see the formation of new pores on activated carbon that has been activated, with the formation of new pores, the surface area of activated carbon can be increased after the process of activation of chemical physics. The particle size results from characterization using X-ray diffraction showed clear results where the particle size after activation decreased, citric acid activation gave a value of 3.3396 (Å) and nitric acid activation of 3.3188 (Å) while the coal activated carbon was sub-bituminous before activation of 4.2269 (Å).

Keywords: Biomass, Sub-bituminous Coal, Activation, Nitric Acid, Citric Acid

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan dipengaruhi oleh hasil buangan yang diketahui sebagai limbah. Limbah merupakan hasil buangan yang harus ditangani dengan cepat, tepat, dan benar sehingga tidak dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Buangan limbah

yang mengandung logam berat dapat mengakibatkan lingkungan menjadi tercemar. Fakta telah dilaporkan bahwa pencemaran akibat logam berat dapat berdampak pada konsumsi sehari-hari maupun ketika mengkonsumsi biota air yang hidup di perairan tercemar yang dapat

mengganggu kesehatan manusia dan alam sekitar akibat masalah lingkungan [1].

Beberapa metode telah dikembangkan untuk menguraikan logam berat dalam air limbah diantaranya pertukaran ion, elektrolisis teknologi membran, oleh karena pertimbangan biaya dan kemudahan maka dipilihlah metode adsorpsi yang lebih murah dan sesuai pada pengolahan untuk mengolah limbah perairan. Adsorben murah dan ramah lingkungan [2].

Beberapa metode dikembangkan untuk menguraikan logam berat dalam air limbah diantaranya pertukaran ion, elektrolisis teknologi membran, oleh karena pertimbangan biaya dan kemudahan maka dipilihlah metode adsorpsi yang lebih murah dan sesuai pada pengolahan untuk mengolah limbah perairan. Adsorben murah dan ramah lingkungan[3].

Penelitian pemanfaatan batubara bituminous yang dilakukan oleh Melegy dan Salman [4] pada proses penyerapan ion logam timbal (Pb^{2+}) dan seng (Zn^{2+}) terhadap larutan media air dengan menggunakan batubara bituminous, dalam penelitian tersebut karbon aktif batubara bituminous telah terbukti memiliki kemampuan yang efektif menjadi adsorben untuk menghilangkan Pb (II) dan Zn (II) yang terserap dalam media air. Luas permukaan yang besar yang dimiliki oleh karbon aktif batubara sub-bituminous memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi.

Menurut Melegy dan Salman [4] melakukan pemeriksaan komposisi kandungan mineral terhadap batubara yang diperoleh dari hasil tambang batubara Manghara dengan melakukan analisis *ultimate* and *proximate* pada batubara jenis bituminous, sebesar 71,44% kadar karbon yang terkandung dalam batubara bituminous tersebut sangat baik digunakan sebagai bahan penyerap yang digunakan pada proses

penyerapan logam berat dalam limbah buangan laboratorium yang sebelumnya harus dilakukan proses aktivasi sehingga akan mampu menyerap logam dengan baik [5].

Penggunaan batubara jenis sub-bituminous sebagai adsorben karbon aktif yang di aktivasi menggunakan larutan asam organik dan asam anorganik pada bahan penyerapan logam berat masih sangat sedikit dimanfaatkan dalam penelitian, maka pada penelitian ini akan dilakukan penyerapan logam metilen biru menggunakan karbon aktif batubara jenis sub-bituminous yang berasal dari Kabupaten Nagan Raya sebagai adsorben yang di aktivasi dengan larutan asam sitrat dan asam nitrat. Pemanfaatan batubara jenis *sub-bituminous* secara langsung yang diperoleh dari sumber bahan alam sebagai adsorben arang aktif penyerapan limbah cair metilen biru yang di aktivasi secara fisika dan kimia masih sangat minim dilakukan dalam berbagai penelitian, sehingga pada penelitian ini dilakukan uji kinerja batubara *sub-bituminous* sebagai adsorben penyerapan limbah cair metilen biru.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu: *Muffle Furnace (Line Thermolyne, model: FB1410M-33at 1100 °C)*, *oven dryer (memmert)*, desikator (*pyrex*), *ball mill*, *shieve sieker*, *buchner funnel*, timbangan digital (*ohaus*), erlenmayer 250 mL (*pyrex*), gelas ukur 100 mL (*pyrex*), *thermometer*, *shaker*, labu ukur 1000 mL (*pyrex*), pipet tetes, pH meter (*oreon*), AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry; Shimadzu AA6300*), *Scanning Electron Microscopy* (Hitachi TM3000) dan *X-Ray Diffraction*

(BRUKER EIGER2 R 500K Detector), dan alat-alat gelas lainnya.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu: Batubara jenis *Sub-bituminous* yang diperoleh dari daerah Kabupaten Nagan Raya, Asam Nitrat; HNO_3 (wako *pure chemical*; 99,9%), Asam Sitrat; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ (wako *pure chemical*; 99,9%), dan Aquades.

Variabel Penelitian

Variabel tetap berupa berat karbon aktif sub-bituminous 2 gram, ukuran ayakan 200 mesh, dan suhu aktivasi fisika 500 °C. Variabel berubah berupa konsentrasi metilen biru (5 %; 10 %; dan 15 % volume/volume), konsentrasi activator (0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M), dan waktu adsorpsi (60 menit; 80 menit; dan 100 menit).

Preparasi Batubara Sub-bituminous

Batubara sub-bituminous diperoleh dari kawasan pegunungan Kabupaten Nagan Raya, batubara dicuci dengan menggunakan aquadest untuk menghilangkan debu dan kotoran. Merendam *sub-bituminous* dalam air bersih selama 1 jam, selanjutnya dikeringkan dibawah sinar matahari selama 4-5 jam. Batubara *sub-bituminous* yang telah dikeringkan selanjutnya dilakukan pengeringan kembali pada suhu 150 °C dalam *muffle furnace* selama 2 jam untuk memperoleh *sub-bituminous* yang bebas air [6]. Hasil pengeringan kemudian dimasukkan kedalam *ball mill* untuk proses penghancuran yang selanjutnya hasil penghancuran diayak menggunakan *shiver seker* sampai diperoleh hasil ayakan dengan ukuran 200 mesh.

Aktivasi Secara Fisika

Aktivasi karbon aktif batubara *sub-bituminous* dilakukan dengan proses karbonisasi, proses karbonisasi merupakan proses pemanasan dalam keadaan anaerob

(tanpa oksigen) pada temperatur tinggi, sejumlah batubara yang telah dihaluskan dengan ukuran 200 mesh dipanaskan dalam furnace pada suhu 500 °C selama 3 jam [7], [8].

Aktivasi secara Kimia

Campuran batubara *sub-bituminous* dengan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) dan asam nitrat (HNO_3) kemudian diaduk dengan menggunakan *shaker* pada 100 rpm selama 1 jam pada suhu kamar. Batubara *sub-bituminous* yang sudah dicampur dengan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) dan asam nitrat (HNO_3) kemudian dimasukkan ke dalam 500 mL aquadest dan diaduk pada 100 rpm selama 30 menit, cara kerja ini terus diulang sampai diperoleh pH=7. Kemudian dikeringkan pada temperatur 150 °C selama 2 jam [9].

Karakterisasi Karbon Aktif Sub-bituminous

Karakterisasi karbon aktif batubara sub-bituminous dilakukan dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (Hitachi TM3000) dan *X-Ray Diffraction* (BRUKER EIGER2 R 500K Detector).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Proximate

Batubara *sub-bituminous* yang diolah menjadi karbon aktif terlebih dahulu dilakukan analisis awal bahan baku untuk pengujian parameter kadar air (*moisture*), kadar sulfur (sulfur), kadar hidrogen karbon (*hydrogen carbon*), kadar zat terbang (*volatile content*), kadar abu (*ash content*), dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*) [10]. Hasil analisis awal bahan baku batubara *sub-bituminous* dapat disajikan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil analisis *proximate* batubara *sub-bituminous*

No.	Nama Sampel	Jenis Analisis <i>Proximate</i> (satuan dalam persen, %)					
		Moisture	Sulfur	Hydrogen Carbon	Volatile Content	Ash Content	Fixed Carbon
1.	Sampel A	30,95	0,22	4,16	38,865	9,575	20,61
2.	Sampel B	30,65	0,24	4,17	38,795	9,195	21,36
	Nilai rata-rata	30,80	0,23	4,17	38,83	9,39	20,99

Aktivasi Karbon Aktif Batubara Sub-Bituminous Secara Fisika

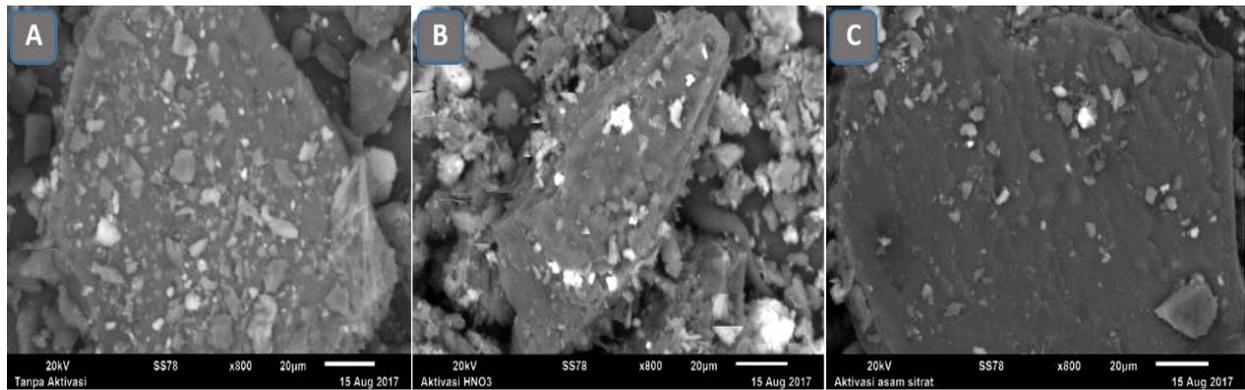
Proses aktivasi karbon aktif batubara *sub-bituminous* yang dilakukan secara fisika dengan tujuan untuk menghilangkan produk tar melalui pemanasan menggunakan uap air atau pemanasan pada suatu aliran *inert* [11]. Proses aktivasi juga dapat memperbesar ukuran pori-pori yang telah terbentuk pada tahap karbonisasi dan terjadi pembentukan pori-pori baru. Aktivasi fisika sangat penting untuk menghilangkan karbon yang tidak terorganisasi dan sisa tar yang terdapat dalam pori-pori yang tidak hilang pada tahapan karbonisasi karena temperatur rendah. Karbon yang tidak terorganisasi dan tar terdevolatilisasi bersamaan dengan gas pengaktif dan mampu berkontak langsung dengan gas pengaktif sehingga dapat terlepas dan pori-pori membesar disertai dengan pembentukan pori-pori baru [8]. Pada penelitian ini sejumlah batubara yang telah dihaluskan dengan ukuran 200 mesh dipanaskan dalam furnace pada suhu 500 °C selama 3 jam [7].

Aktivasi Karbon Aktif Batubara Sub-Bituminous Secara Kimia

Daya adsorpsi dapat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, salah satunya adalah luas permukaan (*surface area*) adsorben biomassa itu sendiri. Luas permukaan merupakan karakteristik fisik dari suatu adsorben. Untuk mendapatkan adsorben *sub-bituminous* dengan luas permukaan yang

baik, banyak faktor yang berpengaruh pada saat pembuatannya. Salah satunya adalah pada proses aktivasi. Aktivasi adalah bagian dalam proses pembuatan adsorben biomassa yang bertujuan untuk memperbesar distribusi dan ukuran pori serta memperbesar luas permukaan adsorben. Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben.

Tahapan awal aktivasi dilakukan dengan cara mencampurkan sebanyak 25 gram campuran batubara *sub-bituminous* kering yang telah dihaluskan (200 mesh) dimasukkan ke dalam 100 mL $C_6H_8O_7$ sebagai activator asam organik masing-masing dengan konsentrasi 1 M. Menurut [12] dan [13] $C_6H_8O_7$ dan HNO_3 dapat meningkatkan proses adsorpsi dengan menyebabkan pembentukan lokasi baru adsorpsi pada permukaan adsorben. Perlakuan aktivasi berikutnya campuran biomassa yang sudah bercampur dengan diaduk menggunakan *shaker* pada 100 rpm selama 1 jam, kondisi proses pencampuran dilakukan pada suhu kamar. Setelah proses pengadukan selesai, batubara bitumen yang telah di aktivasi dengan masing-masing activator kemudian dilakukan pencucian menggunakan 500 mL aquadest, pencucian tersebut diulang beberapa kali sampai diperoleh pH netral (pH=7) yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa ion dalam



Gambar 1. Hasil karakterisasi SEM (a) Sebelum di aktivasi, (b) Aktivasi asam nitrat, (c) Aktivasi asam sitrat

karbon aktif biomassa batubara bitumen, kemudian dikeringkan pada temperatur 50 °C selama 2 jam.

Karakterisasi Batubara Sub-Bituminous dengan SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang gambar permukaan sampel di pindai dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola pemindai pixel. SEM juga menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi dan sifat-sifat lain seperti konduktivitas listrik. Hasil karakterisasi karbon aktif batubara sub-bituminous sebelum dan setelah di aktivasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada Gambar 1. (a) partikel karbon aktif terlihat belum memiliki perubahan yang diakibatkan belum adanya senyawa baru yang melakukan perubahan terhadap batubara sub-bituminous tersebut, tidak adanya senyawa yang memperbesar luas permukaan dari karbon aktif, batubara sub-bituminous masih belum memiliki pori-pori pada permukaan karbon aktif, sehingga kinerja sebagai adsorben masih belum

menunjukkan kerja yang baik. Gambar (b) karbon aktif yang di aktivasi dengan menggunakan asam anorganik yaitu asam nitrat (HNO_3), asam nitrat memiliki kemampuan yang lebih besar dalam memperbesar luas permukaan partikel dibandingkan dengan asam organik yaitu asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Pada gambar (b) terlihat banyaknya pori-pori partikel baru yang terbentuk yang diakibatkan oleh ion H^+ senyawa asam karena memiliki kemampuan yang kuat untuk membentuk partikel baru pada karbon aktif. Sedangkan pada gambar (c) dimana ion H^+ yang dimiliki oleh senyawa asam sitrat sangat lemah untuk membentuk partikel baru sehingga sangat sedikit terlihat adanya pori-pori partikel baru pada bentuk morphology karbon aktif. Berdasarkan penelitian [6] menjelaskan bahwa proses aktivasi dilakukan untuk memperbanyak sisi aktif yang digunakan pada proses adsorpsi. Sisi aktif tersebut semakin meningkat dengan adanya senyawa pengaktif yang digunakan pada adsorben. Asam nitrat (HNO_3) digunakan sebagai bahan pengaktif karena bahan tersebut memiliki ion H^+ yang dapat melarutkan logam-logam pengotor dengan terjadinya pertukaran ion logam yang terikat pada adsorben. Aktivasi karbon aktif sangat

mempengaruhi untuk memperbesar luas permukaan partikel.

Karakterisasi Batubara Sub-Bituminous dengan XRD

Karakterisasi difraksi sinar-X pada karbon aktif batubara sub-bituminous sebelum di aktivasi dengan setelah di aktivasi menggunakan asam organik yaitu asam sitrat ($C_6H_8O_7$) sangat sedikit memperlihatkan perubahan hal ini disebabkan karena senyawa asam organik yang dimiliki oleh asam sitrat sangat lemah untuk meningkatkan daya ikat terhadap karbon aktif batubara sub-bituminous. Nilai hasil analisis XRD dapat dilihat pada data tabulasi Tabel 2 berikut:

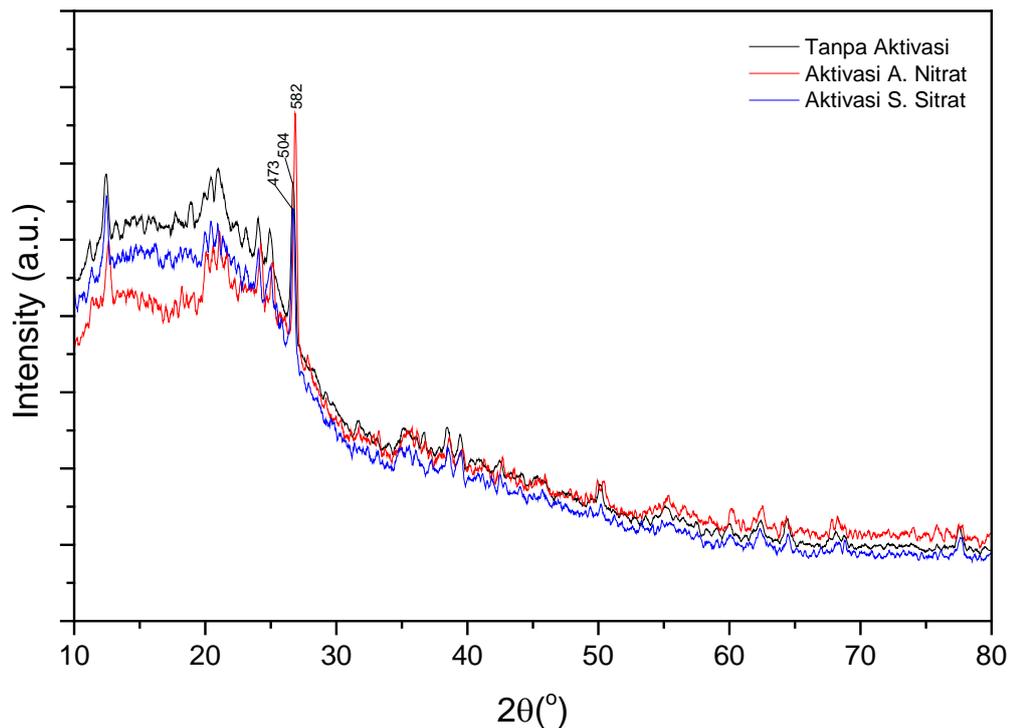
Tabel 2. Karakteristik ukuran partikel hasil difraksi sinar-X

Sampel	2θ	d (Å)
Sub-bituminous sebelum Aktivasi	21.00	4.2269
Sub-bituminous aktivasi $C_6H_8O_7$	26.67	3.3396
Sub-bituminous aktivasi HNO_3	26.84	3.3188

Berdasarkan hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa aktivasi karbon aktif sangat mempengaruhi struktur kristal suatu adsorben, pada penelitian aktivasi karbon aktif dengan menggunakan asam anorganik yaitu asam nitrat (HNO_3) sangat menunjukkan kinerja yang baik sebagai karbon aktif, hasil XRD tabel diatas untuk karbon aktif batubara sub-bituminous tanpa aktivasi menunjukkan nilai pada sudut difraksi (2θ) $21,00^\circ$ menghasilkan ukuran partikel sebesar 4,2269 Angstrom (Å). Sedangkan karbon aktif yang mengalami aktivasi memperlihatkan hasil yang jauh lebih meningkat kinerja adsorben, untuk batubara yang di aktivasi dengan

menggunakan activator asam organik yaitu asam sitrat ($C_6H_7O_8$) memperlihatkan peningkatan pada nilai sudut difraksi (2θ) $26,67^\circ$ menghasilkan ukuran partikel sebesar 3,3396 (Å). Namun, karbon aktif batubara sub-bituminous yang di aktivasi dengan menggunakan asam anorganik yaitu asam nitrat (HNO_3) jauh memberikan hasil yang terbaik pada nilai sudut difraksi (2θ) $26,84^\circ$ menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil yaitu sebesar 3,3188 (Å). Semakin kecil ukuran partikel yang dihasilkan akibat proses aktivasi karbon aktif batubara sub-bituminous maka luas permukaan partikel semakin besar sehingga daya adsorpsi juga semakin besar.

Pada Gambar 2 memperlihatkan puncak intensitas terbaik diperoleh pada aktivasi dengan menggunakan asam nitrat dimana nilai intensitas berada pada 582 (a.u.), sedangkan untuk batubara sub-bituminous yang di aktivasi dengan menggunakan asam sitrat memiliki nilai intensitas yang rendah dibandingkan dengan asam nitrat dimana nilainya berada pada 504 (a.u.). Untuk perlakuan tanpa di aktivasi sudah jelas memperlihatkan nilai yang rendah dari bahan yang telah di aktivasi, dimana puncak intensitas batubara sub-bituminous yang tidak di aktivasi berada pada puncak 473 (a.u.). Puncak yang di temukan pada $2\theta = 26,6$ merupakan puncak silika oksida [14]. Aktivasi asam organik dengan asam anorganik sangat mempengaruhi tingkat keaktifan karbon aktif, dimana senyawa yang di aktivasi dengan asam nitrat jauh meningkat intensitasnya dibandingkan dengan aktivator asam organik yaitu asam sitrat.



Gambar 2. Hasil difraksi sinar-X berdasarkan puncak intensitas

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan kondisi proses yang telah diaplikasikan pada penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa preparasi bahan baku karbon aktif batubara *sub-bituminous* dilakukan untuk mendapatkan komposisi terbaik pada analisis awal bahan baku, analisis *proximate* yang didapat masih jauh dari standar mutu batubara dimana kadar air dan kadar abu masing-masing sebesar 30,80 % dan 9,39 %.

Aktivasi fisika dan kimia dilakukan untuk melihat terbentuknya pori-pori baru pada karbon aktif yang telah di aktivasi, dengan terbentuknya pori-pori baru maka luas permukaan karbon aktif dapat meningkat setelah dilakukan proses aktivasi fisika kimia. Ukuran partikel hasil karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X menunjukkan hasil yang jelas dimana ukuran partikel setelah di aktivasi menurun, aktivasi asam sitrat memberikan nilai sebesar 3,3396 (Å)

dan aktivasi asam nitrat sebesar 3,3188 (Å) sedangkan karbon aktif batubara *sub-bituminous* sebelum di aktivasi sebesar 4,2269 (Å).

Saran

Aktivasi dengan larutan asam organik memberikan dampak yang baik pada proses penyerapan metilen biru, ada baiknya digunakan secara langsung pada penyerapan logam berat, baik itu logam berat hasil buangan industri, limbah domestik, buangan lainnya yang menyebabkan terjadinya pencemaran logam berat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dan Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Serambi Mekkah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Aydin, Y. Bulut, and Ç. Yerlikaya, "Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents," *J. Environ. Manage.*, vol. 87, no. 1, pp. 37–45, 2008.
- [2] K. P. Kusmiyati, P. A. Lystanto, "Pemanfaatan Karbon Aktif Arang Batubara (KAAB) untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Berat Cu^{2+} dan Ag^+ ," *J. Reakt.*, vol. 14, no. 1, pp. 51–60, 2012.
- [3] M. K. Sahu, S. Mandal, S. S. Dash, P. Badhai, and R. K. Patel, "Removal of Pb(II) from aqueous solution by acid activated red mud," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 1, no. 4, pp. 1315–1324, 2013.
- [4] A. Melegy and S. Salman, "Petrological and Environmental Geochemical Studies on the Abandoned Maghara Coal Mine," *Geolines*, vol. 22, pp. 44–51, 2009.
- [5] A. Muslim, Zulfian, M. H. Ismayanda, E. Devrina, and H. Fahmi, "Adsorption of Cu(II) from the aqueous solution by chemical activated adsorbent of areca catechu shell," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 12, pp. 1654–1666, 2015.
- [6] R. M. I. Royana, R. Kurniawan, E. Yulianti, "Pemanfaatan Biosorben Batang Jagung Teraktivasi Asam Nitrat dan Asam Sulfat untuk Penurunan Angka Peroksida – Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas," *Alchemy J. Chem.*, vol. 1, no. 5, pp. 10–18, 2016.
- [7] D. Ghafarunnisa, A. Rauf, and B. T. S. Rukmana, "Pemanfaatan Batubara Menjadi Karbon Aktif dengan Proses Karbonisasi dan Aktivasi Menggunakan Reagen Asam Fosfat (H_3PO_4) dan Ammonium Bikarbonat (NH_4HCO_3)," *Prosiding Semin. Nas. XII*, vol. 1, no. 1, pp. 36–41, 2017.
- [8] E. Kusdarini, A. Budianto, and D. Ghafarunnisa, "Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal H_3PO_4 Kombinasi $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-NH}_4\text{HCO}_3$ dan Termal," *Reaktor*, vol. 17, no. 2, pp. 74–80, 2017.
- [9] H. Kristianto, "Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCl_2 ," *J. Integr. Proses*, vol. 6, no. 3, pp. 104–111, 2017.
- [10] L. Zhang, J. C. Hower, and W. Liu, "Devolatilization and kinetics of maceral concentrates of bituminous coals," *Fuel Process. Technol.*, 2016.
- [11] M. U. A. Gani and Widodo, "Percobaan Penyerapan Limbah Industri Menggunakan Karbon Aktif dari Batubara Tanjung Tabalong, Kalimantan Selatan," *J. Geol. Indones.*, vol. 6, no. 4, pp. 239–248, 2011.
- [12] C. R. Priadi, P. N. Sari, and S. S. Moersidik, "Adsorpsi Logam Seng dan Timbal pada Limbah Cair Industri Keramik oleh Limbah Tanah Liat," *Reaktor*, vol. 15, no. 1, pp. 10–19, 2014.
- [13] L. Safrianti, N. Wahyuni, and T. A. Zaharah, "Adsorpsi Timbal (II) oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktiasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak," *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- [14] E. P. Kuncoro and M. Z. Fahmi, "Removal of Hg and Pb in Aqueous Solution Using Coal Fly Ash Adsorbent," *Procedia Earth Planet. Sci.*, vol. 6, pp. 377–382, 2013.