

Aktivasi *Bottom Ash* dari Pembakaran Batubara untuk Menurunkan Kandungan Senyawa Fosfat dalam Air

Bottom Ash Activation From Coal Combustion to Reduce Phosphate on the Water

Fatimah, Budi Pratama Tarigan*, Alfikri Ramadhan

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jalan Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

*Email : buditarigan07@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh aktivasi *bottom ash* dengan NaOH terhadap struktur morfologi dan kandungan unsur yang terdapat pada *bottom ash* serta melihat pengaruh aktivasi terhadap penyerapan kandungan senyawa fosfat dalam air oleh *bottom ash*. *Bottom ash* dari hasil pembakaran batubara PT SOCIMAS telah diaktivasi dengan NaOH dan telah digunakan untuk mengadsorpsi fosfat. Fosfat yang digunakan dalam bentuk KH_2PO_4 . *Bottom ash* terlebih dahulu dikarakterisasi dengan SEM-EDS untuk melihat struktur morfologi beserta kandungan unsur yang terdapat pada *bottom ash*. Variasi massa *bottom ash* yang digunakan adalah (1, 2, dan 3 gram), dan ukuran partikel (50-70 mesh, 70-110 mesh, dan 110-140 mesh). Proses aktivasi berlangsung selama 5 jam menggunakan NaOH 3 M, kemudian dicuci hingga pH 7. *Bottom ash* teraktivasi kemudian di karakterisasi kembali dengan SEM-EDS untuk memastikan zat pengotor yang terdapat pada *bottom ash* berkurang. Selanjutnya *bottom ash* digunakan untuk mengadsorpsi fosfat dengan variasi waktu 20, 40, dan 60 menit. Kapasitas adsorpsi yang paling efektif (6,39 mg/g) yaitu pada menit ke-20 dengan ukuran partikel 110-140 mesh dan massa *bottom ash* 1 gram. Model isoterm Freundlich dan Langmuir digunakan untuk menggambarkan isoterm adsorpsi ion fosfat oleh *bottom ash*. Berdasarkan data yang telah didapat, model isoterm yang sesuai untuk penelitian ini adalah model isoterm Freudlich ($R^2 = 0,9721$) dan Langmuir ($R^2 = 0,9505$)

Kata kunci: adsorpsi, aktivasi, *bottom ash*, NaOH

Abstract

This study aims to look at the effect of bottom ash activation with NaOH on the morphological structure and content of the elements contained in bottom ash and see the effect of activation on the absorption of phosphate compounds in water by bottom ash. Bottom ash from PT SOCIMAS coal combustion has been activated with NaOH and has been used to adsorb phosphate. Phosphate used in the form of KH_2PO_4 . Bottom ash was first characterized by SEM-EDS to see the morphological structure and the element content contained in the bottom ash. Bottom ash mass variations used are (1, 2, and 3 grams), and particle size (50-70 mesh, 70-110 mesh, and 110-140 mesh). The activation process lasts for 5 hours using 3 M NaOH, then washed to pH 7. The bottom ash is activated then characterized again with SEM-EDS to ensure the impurities present in the bottom ash are reduced. Furthermore, bottom ash is used to adsorb phosphate with time variations of 20, 40, and 60 minutes. The most effective adsorption capacity (6.39 mg / g) is at the 20th minute with a particle size of 110-140 mesh and a bottom ash mass of 1 gram. The Freundlich and Langmuir isotherm model is used to describe the phosphate ion adsorption isotherm by the bottom ash. Based on the data obtained, the isotherm model suitable for this research is the Freudlich ($R^2 = 0.9721$) and Langmuir ($R^2 = 0.9505$) isotherm model.

Keywords: adsorption, activation, bottom ash, NaOH

Pendahuluan

Keberadaan fosfat dengan *range* lebih dari 0,01-0,1 mg/l di dalam badan air dapat memicu proses eutrikifikasi yang akan menyebabkan berkurangnya penetrasi sinar matahari ke dalam badan air pada siang hari sehingga proses fotosintesis tumbuhan di dasar air yang akan menghasilkan oksigen juga berkurang [7].

Fenomena eutrofikasi dapat juga memicu pertumbuhan alga dan mikroorganisme sehingga

keadaan perairan menjadi berwarna hijau, keruh, berbau tidak sedap dan menurunkan kadar oksigen [11]. Terdapat beberapa cara yang telah berhasil untuk menurunkan kadar fosfat di dalam badan air yaitu *biological treatment* [16], *chemical presipitation* [33], *struvite formation* [4], *membrane processing* [8], dan adsorpsi [22, 23]. Metode adsorpsi mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode yang

lain yaitu pengerjaannya yang simpel, murah, dan efisiensinya tinggi [1].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh aktivasi *bottom ash* dengan NaOH terhadap struktur morfologi dan kandungan unsur yang terdapat pada *bottom ash* serta melihat pengaruh aktivasi terhadap penyerapan kandungan senyawa fosfat dalam air oleh *bottom ash*. *Bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini yaitu dari pembakaran batubara PT. SOCIMAS. *Bottom ash* dipilih sebagai adsorben pada penelitian ini karena memiliki ukuran partikel, luas permukaan dan porositas yang tinggi membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk digunakan sebagai adsorben [9]. *Bottom ash* memiliki kandungan Si dan Al yang cukup besar sehingga membuat *bottom ash* mempunyai sifat yang mirip dengan zeolit atau adsorben [29]. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan *bottom ash* sebagai adsorben dan nilai efisiensi penyerapannya tinggi : 80% [19], 82,311% [29] dan 85,5% [9].

Teori

Bottom ash memiliki ukuran partikel, luas permukaan dan porositas yang tinggi membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk digunakan sebagai adsorben [19]. *Bottom ash* memiliki kandungan Si dan Al yang cukup besar sehingga membuat *bottom ash* mempunyai sifat yang mirip dengan zeolit atau adsorben [9].

Proses aktivasi adsorben dapat dilakukan dengan 2 cara. Cara yang pertama yaitu secara fisika melalui proses pemanasan yang bertujuan agar kandungan air yang terdapat didalam pori-pori adsorben dapat teruapkan, sehingga meningkatkan luas permukaan [18]. Cara yang kedua yaitu secara kimia melalui proses penambahan suatu asam (seperti H_2SO_4 , HF, dan HCl) dan penambahan basa (NaOH atau KOH) yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori-pori adsorben, menghilangkan logam pengotor serta memperbanyak pori-pori adsorben [30].

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul fluida (gas atau cair) yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan [15]. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi yaitu [2].

1. Jenis adsorbat, dapat ditinjau dari ukuran molekul adsorbat dan polaritas molekul adsorbat.
2. Sifat adsorben, dapat ditinjau dari luas permukaan, temperatur dan tekanan.

Mekanisme adsorpsi dapat digambarkan oleh model isoterm. Di penelitian ini digunakan

model isoterm Langmuir dan Freundlich untuk menentukan mekanisme adsorpsi fosfat oleh *bottom ash*.

a) Isoterm adsorpsi Langmuir

Isoterm Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap bahwa hanya sebuah adsorpsi tunggal yang terjadi. Adsorpsi tersebut disebut adsorpsi terlokalisasi, artinya molekul-molekul zat hanya dapat diserap pada tempat-tempat tertentu dan panas adsorpsi tidak tergantung pada permukaan yang tertutup oleh adsorben. Isoterm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan adsorpsi kimia.

b) Isoterm adsorpsi Freundlich

Persamaan adsorpsi Freundlich diturunkan secara empirik dan berlaku untuk gas yang bertekanan rendah. Isoterm adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat [5].

Metodologi Penelitian Pengumpulan Bahan Baku

Bottom ash didapatkan dari PT. SOCIMAS. *Bottom ash* kemudian diayak dengan ukuran 20-50 mesh sebelum diaktivasi.

Proses Aktivasi

30 g *Bottom ash* yang telah diayak kemudian di aktivasi dengan larutan 250 ml NaOH 3 M selama 5 jam pada suhu 90°C. Proses aktivasi menggunakan alat *hot plate*, *magnetic stirrer* dan *beaker glass*. Setelah itu *bottom ash* dicuci hingga pH nya netral ($7 \pm 6,8$), kemudian dikeringkan pada *oven* hingga kadar airnya konstan. Setelah itu *bottom ash* diayak dengan ukuran 50-70 mesh, 70-110 mesh, dan 110-140 mesh.

Proses Adsorpsi

Bottom ash dengan variasi massa (1, 2, dan 3 gram) dan ukuran (50-70, 70-110, dan 110-150 mesh) dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan 500 ml larutan fosfat 10 mg/l kemudian diaduk dengan *stirrer* selama 15 menit. Setelah diaduk, filtrat diambil sesuai dengan variasi waktu kontak nya (20, 40, dan 60 menit).

Analisa Komposisi dan kuantitas kadar fosfat

Bottom ash sebelum dan sesudah aktivasi di analisa dengan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk melihat struktur morfologi dan mengetahui komposisi unsur dari *bottom ash*. Untuk mengetahui kuantitas kadar fosfat pada filtrat maka digunakan analisa spektrofotometer Uv-Vis.

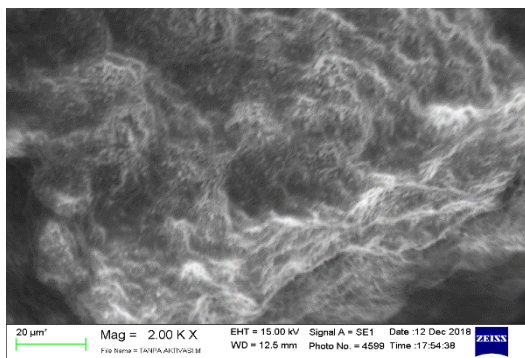
Hasil

Karakterisasi *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) *Bottom Ash* Batubara

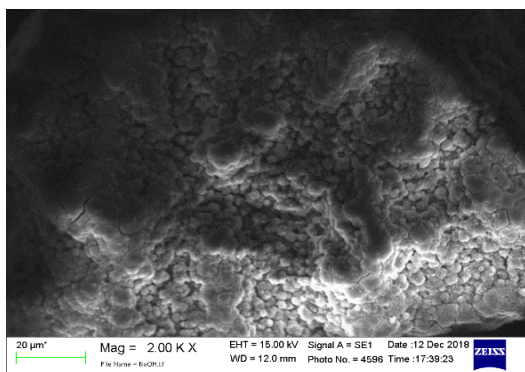
Hasil karakterisasi SEM-EDS *bottom ash* dapat dilihat pada gambar 1 (a) sebelum aktivasi dan (b) sesudah aktivasi, sedangkan hasil EDS dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa EDS *Bottom Ash* Sebelum dan Sesudah Aktivasi

No.	Unsur	Persentase (%)	
		Sebelum Aktivasi	Sesudah Aktivasi
1	O	47,67	45,74
2	Si	19,59	17,82
3	Al	8,58	7,87
4	Br	15,13	15,61
5	K	0,61	-
6	Ca	1,49	6,24
7	Na	2,07	4,23
8	Fe	3,08	-
9	Mg	1,08	-
10	Ti	0,70	-
11	C	-	2,49



Gambar 1. Hasil Analisa SEM *Bottom Ash* Sebelum Aktivasi

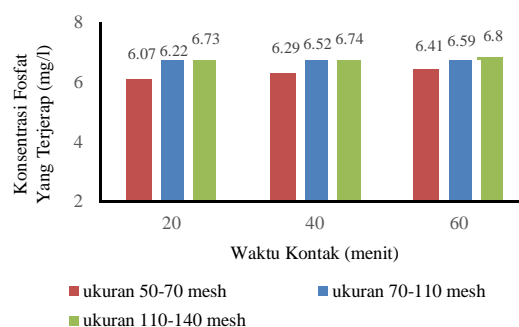


Gambar 2. Hasil Analisa SEM *Bottom Ash* Sesudah Aktivasi

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa unsur Si dan Al pada *bottom ash* sesudah aktivasi berubah. Sebelum aktivasi, kandungan unsur Si dan Al yaitu 19,59% dan 8,58% sedangkan sesudah aktivasi 17,82% dan 7,87%. Hal ini disebabkan terjadinya pelarutan silika yang merupakan salah satu unsur pada *bottom ash* ketika diaktivasi dengan NaOH [10]. Pelarutan silika akan menyebabkan perubahan struktur zeolit serta berkurangnya silika dalam kerangka zeolit sehingga rasio Si/Al menurun [20]. Penurunan rasio Si/Al ini dapat menyebabkan kapasitas adsorpsi semakin tinggi [6].

Gambar 1 menunjukkan hasil analisa SEM *bottom ash* sebelum aktivasi sedangkan gambar 2 menunjukkan hasil analisa SEM *bottom ash* sesudah aktivasi. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa telah terjadi perubahan struktur morfologi pada gambar 2 (*bottom ash* sesudah aktivasi). Pada gambar 2 terlihat bahwa unsur-unsur pengotor yang sebelumnya menyelimuti *bottom ash* sudah semakin berkurang. Dari gambar 1 tidak terlihat adanya pori-pori sedangkan pada gambar 2 terlihat jelas pori-pori nya terbuka. Aktivasi adsorben dengan NaOH membuat pori-pori adsorben lebih banyak, struktur nya semakin kasar, serta membuat kapasitas adsorpsinya semakin besar [3; 26].

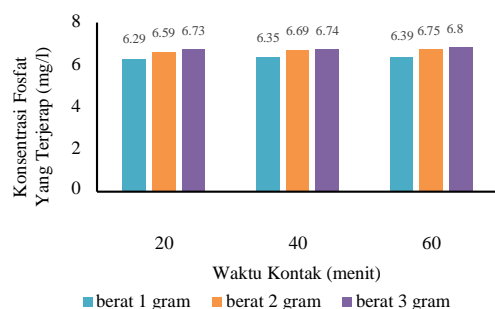
Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Penjerapan Konsentrasi Fosfat



Gambar 3. Grafik Penjerapan Fosfat dengan Berat Adsorben 3 gram

Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar konsentrasi fosfat yang terjerap. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan adsorben semakin besar sehingga semakin banyak adsorbat yang terjerap [27;28]. Oleh karena itu pada penelitian ini ukuran partikel yang lebih banyak menyerap konsentrasi fosfat yaitu pada ukuran partikel 110-140 mesh.

Pengaruh Berat Adsorben Terhadap Penjerapan Konsentrasi Fosfat

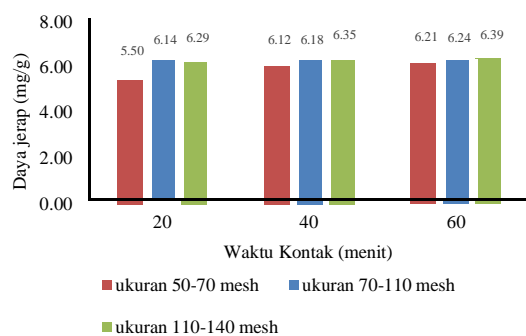


Gambar 4. Pengaruh Berat Adsorben Terhadap

Pejerapan Konsentrasi Fosfat dengan Ukuran Partikel 110-140 Mesh

Semakin besar berat adsorben maka penjerapannya semakin meningkat. Hal ini disebabkan ketika bertambahnya berat adsorben maka bertambah juga sisi aktif dari adsorben yang akan mengikat adsorbat. Hal ini juga telah dibuktikan oleh Dakiky et al., (2002), Acharya et al., (2009), Onundi et al., (2010). Oleh karena itu pada penelitian ini massa adsorben yang lebih banyak menyerap konsentrasi fosfat yaitu pada massa adsorben 3 gram.

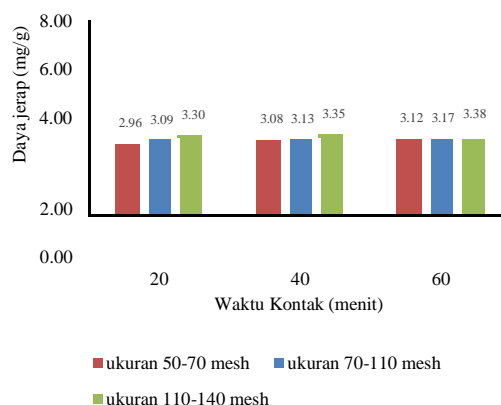
Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Daya Jerap Adsorben



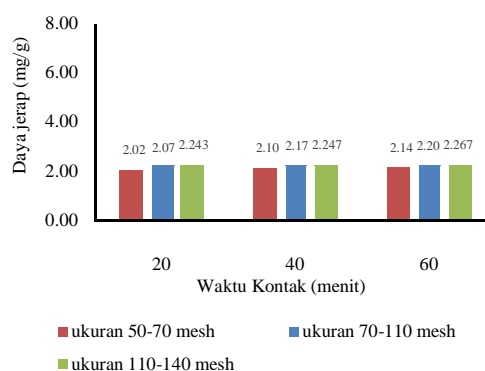
Gambar 5. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Daya Jerap Adsorben dengan Berat Adsorben 1 gram

Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa daya jerap fosfat terjadi peningkatan yang signifikan pada menit 0-20 menit, setelah 20 menit kemampuan *bottom ash* dalam mengadsorpsi fosfat tidak mengalami peningkatan penjerapan yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh pori-pori adsorben yang sudah terisi penuh dengan ion fosfat atau adsorben sudah jenuh sehingga adsorben sudah tidak mampu lagi menyerap ion fosfat dalam jumlah banyak. Hal ini juga telah dibuktikan oleh Sharma et al., (2019) yang menyatakan bahwa pada awal waktu kontak

daya jerap adsorben akan terus meningkat hingga adsorben mencapai kesetimbangan dan tidak bisa menyerap adsorbat lagi.



Gambar 6. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Daya Jerap Adsorben dengan Berat Adsorben 2 gram



Gambar 7. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Daya Jerap Adsorben dengan Berat Adsorben 3 gram

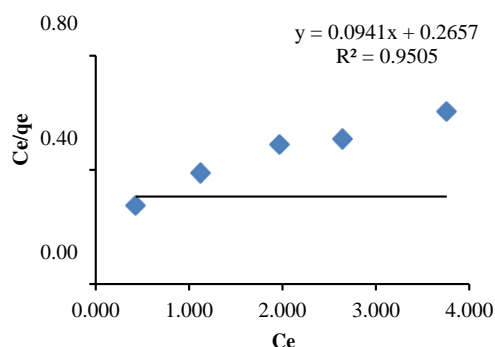
Selain waktu kontak, yang mempengaruhi daya jerap ion fosfat yaitu berat adsorben. Dari ketiga gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar berat adsorben maka daya jerapnya semakin kecil. Hal ini disebabkan terbentuknya gumpalan yang menyebabkan menurunnya luas permukaan secara keseluruhan [31].

Jadi dapat disimpulkan bahwa massa optimum untuk menyerap ion fosfat yaitu 1 gram dengan daya jerap 6,39 mg/g. Hal ini juga telah dibuktikan oleh (Man, dkk., 2012 ; Charles dan Odoemelam, 2010) yang menyatakan bahwa semakin besar massa adsorben maka kapasitas atau daya jerapnya semakin kecil.

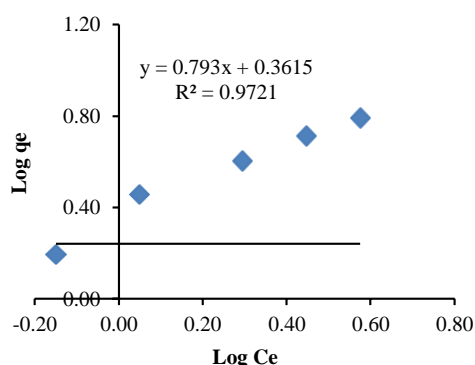
Dari gambar 6 dan 7 dapat dilihat model isoterm langmuir dan freundlich. Model isoterm yang sesuai dengan data hasil penelitian diuji dengan analisis regresi linear sederhana yaitu dengan melihat data nilai koefisien korelasinya (R^2). Jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka

dapat dikatakan bahwa terdapat pengaruh yang semakin besar dan keterkaitan antar variabel semakin kuat [13]. Nilai regresi linier (R^2) dari persamaan linier grafik isoterm dapat digunakan sebagai parameter penentuan jenis isoterm adsorpsi fosfat. Nilai R^2 pada grafik isoterm yang paling mendekati 1, menunjukkan bahwa pola adsorpsi mengikuti pola isoterm tersebut [14].

Isoterm Adsorpsi



Gambar 6. Grafik Isoterm Langmuir



Gambar 7. Grafik Isoterm Freundlich

Berdasarkan nilai R^2 yang dapat dilihat pada hasil analisis, adsorpsi ion fosfat oleh *bottom ash* batubara secara matematis sesuai dengan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Namun nilai R^2 pada isotherm Freundlich sebesar 0,9721 lebih tinggi daripada isotherm Langmuir yaitu 0,9505. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion fosfat ke permukaan *bottom ash* batubara yang lebih dominan terjadi membentuk lapisan monolayer. Hamdi dan Srasra (2012) menyatakan bahwa adsorpsi ion fosfat dengan zeolit sintesis mengikuti model isoterm Freundlich dan Langmuir [24].

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan yaitu struktur morfologi *bottom ash* sesudah diaktivasi dengan NaOH mempunyai pori-pori yang lebih banyak daripada sebelum diaktivasi dikarenakan

zat-zat pengotor seperti Fe, Mg, Ti, dan K telah hilang. Kapasitas penjerapan tertinggi (6,29 mg/l) yaitu pada ukuran partikel 110-140 mesh, berat adsorben 1 gram pada waktu 20 menit.

Daftar Pustaka

- [1] A. Ahmad, M. Rafatullah, O. Sulaiman, M.H. Ibrahim, Y.Y. Chii, B.M. Siddique, Removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood, *Desalination*, 247, (2009) 636-646.
- [2] A. Apriliani, Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb Dalam Air Limbah, *Skripsi, Jurusan Kimia, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta*, 2010.
- [3] A. Sharma. Z. Syed, U. Brighu, A. B. Gupta, C. Ram, Adsorption of textile wastewater on alkali-activated sand, *Journal of Cleaner Production*, 220, (2019) 23-32.
- [4] A. Muhmood, S. Wu, J. Lu, Z. Ajmal, H. Luo, R. Dong, Nutrient recovery from anaerobically digested chicken slurry via struvite: Performance optimization and interactions with heavy metals and pathogens, *Sci. Total Environ*, 635 (2018) 1-9.
- [5] Ashadi, Haryono, Pranoto, Aktivasi, Karakterisasi dan Aplikasi Bagasse Fly Ash Sebagai Adsorben Zat Warna Tekstil, *Seminar Nasional Pendidikan Sains, Universitas Sebelas Maret, Surakarta*.
- [6] D. Bonenfant, M. Kharoune, P. Niquette, M. Mimeault, R. Hausler, Advances in principal factors influencing carbon dioxide adsorption on zeolites, *Sci. Technol. Adv Mater*, 9 (2008) 013007.
- [7] E.M. Seftel, R.G. Ciocarlan, Michielsen, V. Meynen, S. Mullens, P. Cool. Insights into phosphate adsorption behavior on structurally modified ZnAl layered double hydroxides, *Applied Clay Science* 165, (2018) 234-246.
- [8] E.N. Peleka, P.P. Mavros, D. Zamboulis, K.A. Matis, Removal of phosphates from water by a hybrid flotation-membrane filtration cell, *Desalination* 198, (2006) 198-207.
- [9] F. Rosariawari, Penurunan Konsentrasi Limbah Deterjen Menggunakan Furnace Bottom Ash (FBA), *Jurnal Rekayasa Perencanaan* 4(3), (2008).
- [10] G. Jozefaciuk dan G. Bowanko, Effect Of Acid And Alkali Treatments On Surface Areas And Adsorption Energies Of

- Selected Minerals, Clays and Clay Minerals 50 (6), (2002) 771–783.
- [11] G. Nie, L. Wu, Y. Du, H. Wang, Y. Xu, Z. Ding, Z. Liu, Efficient removal of phosphate by a millimeter-sized nanocomposite of titanium oxides encapsulated in positively charged polymer, *Chemical Engineering Journal* (2018).
 - [12] H. C. Man, W. H. Chin, M. R. Zadeh, M. R. M. Yusof, Adsorption Potential of Unmodified Rice Husk For Boron Removal, *BioResources* 7(3), 3810-3822.
 - [13] H. Apriyanti, I. N. Candra, Elvinawati, Karakterisasi Isoterm Adsorpsi Dari Ion Logam Besi (Fe) Pada Tanah Di Kota Bengkulu, *ALOTROP, Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia* 2(1), (2018) 14–19.
 - [14] I. P. Lestari, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2015.
 - [15] J. A. Abudaia, M. O. Sulyman, K. Y. Elazaby, S. M. Ben-Ali, Adsorption of Pb (II) dan Cu (II) from Aqueous Solution onto Activated Carbon Prepared from Dates Stones, *International Journal of Environmental Science and Development* 4(2), 2013.
 - [16] J. V. D. Houwen, E. Valsami-Jones, The application of calcium phosphate precipitation chemistry to phosphorus recovery: the influence of organic ligands, *Environ. Technol* 22, (2001) 1325-1335.
 - [17] J. Acharya, J.N. Sahu, C.R. Mohanty, B.C. Meikap, Removal of lead(II) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood by zinc chloride activation, *Chemical Engineering Journal* 149, (2009) 249–262.
 - [18] Khairinal, W. Trisunaryanti, Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari dengan Perlakuan asam dan Proses Hidrotermal. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII, (2000).
 - [19] Kuntari, N. H. Aprilita dan Suherman, Utilization of Coal Bottom Ash a Low-Cost Adsorbent for the Removal Acid Red 114 Dye, *Eksakta: Jurnal Ilmu-MIPA*, ISSN: 1411-1047.
 - [20] L. Kurniasari, M. Djaeni, A. Purbasari, Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah, *Reaktor* 13 (3), (2011) 178-184.
 - [21] M. Dakiky, M. Khamis, A. Manassra, M. Mer'eb, Selective adsorption of chromium(VI) in industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents, *Advances in Environmental Research* 6, (2002) 533-540.
 - [22] M.T. Ghaneian, G. Ghanizadeh, M.T.H. Alizadeh, M.H. Ehrampoush, F.M. Said, Equilibrium and kinetics of phosphorous adsorption onto bone charcoal from aqueous solution, *Environ Technology* 35, (2014) 882-890.
 - [23] M. Usman, J.M. Byrne, A. Chaudhary, S. Orsetti, K. Hanna, C. Ruby, A. Kappler, S.B. Haderlein, Magnetite and Green Rust: Synthesis, Properties, and Environmental Applications of Mixed-Valent Iron Minerals, *Chem. Rev* 118(7), (2018) 3251-3304.
 - [24] N. Hamdi dan E. Srasra, Removal of phosphate ions from aqueous solution using Tunisian clays minerals and synthetic zeolite, *Journal of environmental Sciences* 24(4), (2012) 617–623.
 - [25] O. Charles . I. dan S. A. Odoemelam, Studies on Adsorbent Dosage, Particle Sizes and Ph Constraints on Biosorption of Pb(II) and Cd(II) Ions from Aqueous Solution Using Modified and Unmodified *Crasstrotrea Gasar* (Bivalve) Biomass, *International Archive of Applied Sciences and Technology* 1(1), (2010) 62-68.
 - [26] S. Atminingtyas, W. Oktiawan, I. W. Wardana, Pengaruh Konsentrasi Aktivator Naoh Dan Tinggi Kolom Pada Arang Aktif Dari Kulit Pisang Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) Dan Seng (Zn) Limbah Cair Industri Elektroplating, *Jurnal Teknik Lingkungan* 5(1), (2016).
 - [27] S. Karaa, C. Aydinera, E. Demirbasb, M. Kobyaa, N. Dizgea, Modeling the effects of adsorbent dose and particle size on the adsorption of reactive textile dyes by fly ash, *Desalination* 212, (2007) 282–293.
 - [28] S. A. Istighfarini, S. Daud, Edward HS, Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Sabut Kelapa Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut, *Jom FTEKNIK* 4(1), (2017).
 - [29] Sumarni, N. Hindryawati, Alimuddin, Aktivasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Menggunakan NaOH, *Jurnal Atomik* 03 (2), (2018) 106-110.
 - [30] Suyartono dan Husaini. 1991, Tinjauan Terhadap Kegiatan Penelitian Karakterisasi dan Pemanfaatan Zeolit Indonesia yang dilakukan PPTM Bandung Periode 1890-1991, Bandung: Buletin PPTM. JPPSH.
 - [31] S. Waseem, M. I. Din, S. Nasir, A. Rasool, Evaluation of *Acacia nilotica* As A Non

Conventional Low Cost Biosorbent For The Elimination Of Pb (II) And Cd (II) Ions From Aqueous Solutions, Arabian Journal of Chemistry VII (2012).

- [32] Y. B. Onundi, A. A. Mamun, M. F. Al Khatib, Y. M. Ahmed, Adsorption of copper, nickel and lead ions from synthetic semiconductor industrial wastewater by palm shell activated carbon, Int. J. Environ Sci Tech 7 (4), (2010) 751-758.
- [33] Y.Z. Peng, X.L. Wang, B.K. Li, Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A²O process, Desalination 189 (1-3), (2006) 155-164.