

PENGARUH JENIS ASAM PADA AKTIVASI CANGKANG TELUR SEBAGAI ADSORBEN LOGAM CU PADA AIR KOLONG

Ike Nur Amanah¹, Fajar Indah Puspita Indriyani^{1,a}, Ristika Oktavia Asriza²

¹) Department of Chemistry, Universitas of Bangka Belitung
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung, Bangka,
Bangka Belitung, 33172

^a) email korespondensi: fipuspitas@gmail.com

ABSTRAK

Aktivitas pertambangan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang terdapat pada limbah cair. Limbah dari lahan bekas pertambangan mengandung berbagai macam unsur logam berat salah satunya logam tembaga (Cu). Pengurangan pencemaran logam Cu dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis asam pada aktivasi cangkang telur sebagai adsorben logam Cu pada air lahan bekas pertambangan. Aktivasi adsorben dilakukan dengan memvariasikan jenis asam yaitu asam sulfat (H₂SO₄) 0,1 M, asam klorida (HCl) 0,1 M, dan asam nitrat (HNO₃) 0,1 M. Hasil analisis XRD dan XRF menunjukkan cangkang telur teraktivasi asam mengandung CaCO₃ yaitu sebesar 97,501% dan puncak serapan khas dengan intensitas tertinggi terdapat pada $2\theta = 29,461^\circ$ yaitu CaCO₃. Hasil uji SAA sampel *degassing* dengan gas N₂ pada suhu 300°C selama 1 jam diperoleh luas permukaan terbesar pada adsorben aktivasi menggunakan asam sulfat (HCl) sebesar 63,907 m²/g. Logam Cu terserap pada adsorben menggunakan cangkang telur teraktivasi asam klorida (HCl) mampu menyerap logam Cu pada air kolong dan menghasilkan efisiensi adsorpsi optimum sebesar 65,27%.

Kata kunci: logam tembaga (Cu), aktivasi, adsorben, adsorpsi

PENDAHULUAN

Aktivitas pertambangan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang terdapat pada limbah cair. Limbah yang dihasilkan umumnya tergolong kedalam limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Akibat berbagai aktivitas disekitar lahan bekas tambang timah (kolong), unsur pencemar masuk ke dalam air kolong. Sehingga menyebabkan potensi logam berat yang terkandung di dalam air kolong. Apabila logam tersebut terdapat dalam jumlah yang besar di dalam air maka akan memiliki sifat toksik. Logam berat dapat menjadi racun bagi makhluk hidup dan lingkungan yaitu logam tembaga (Cu), mangan (Mn), Seng (Zn), kobalt (Co), besi (Fe), dan nikel (Ni) (Hasrianti, 2012).

Logam tembaga (Cu) termasuk logam berat esensial jadi meskipun beracun tetapi dibutuhkan manusia dalam jumlah kecil. Logam Cu yang terdapat dalam bahan makanan yang berlebihan dapat bersifat toksik (Amirani, 2011). Toksisitas logam Cu pada manusia, menimbulkan gejala keracunan seperti sakit perut, mual, muntah, diare dan beberapa kasus yang parah dapat menyebabkan gagal ginjal juga kematian. (Darmono, 2004). Toksisitas logam Cu berpengaruh bila telah masuk dalam tubuh makhluk hidup dalam jumlah yang melebihi nilai toleransi makhluk hidup tersebut (Palar, 1994). Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 kandungan logam Cu yang diperbolehkan dalam lingkungan perairan untuk keperluan budidaya adalah $\leq 0,02$ mg/L dan untuk kehidupan biota yaitu $\leq 0,008$ mg/L. Oleh karena itu pencemaran lingkungan yang disebabkan

oleh tembaga harus dikurangi atau bahkan ditiadakan (Male dkk., 2017).

Penurunan kadar cemaran logam Cu dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai adsorben. Proses adsorpsi merupakan proses suatu partikel pada larutan menempel pada material adsorben (Reri dkk., 2012). Penurunan kadar logam Cu di lingkungan dapat dilakukan dengan menggunakan adsorben. Metode adsorpsi pada logam berat telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan berbagai jenis adsorben, seperti cangkang kupang (Pridyanti, 2018), cangkang kepiting (Anti, 2018), cangkang bekicot (Stevano, 2016) dan cangkang telur (Satriani, 2016).

Cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang saat ini belum dimanfaatkan dengan baik. Pemanfaatan cangkang telur sebagai adsorben merupakan jenis limbah dengan biaya rendah (Ahmad dkk, 2012). Serbuk pada cangkang telur mempunyai kapasitas yang tinggi daripada adsorben lainnya (Chojnacka, 2005). Oleh sebab itu, cangkang telur tergolong jenis limbah yang efektif digunakan sebagai adsorben yang dapat mendukung penerapan minimalisasi limbah serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas limbah cangkang telur dengan prinsip *reuse* dan *recovery* (Nyoman, 2012).

Untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi cangkang telur dilakukan aktivasi secara kimia dengan bahan pengaktif H₂SO₄, HCl dan HNO₃ yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori dan menghilangkan senyawa pengotor (Ambarwati, 2005). Maka berdasarkan paparan di atas, dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh jenis asam pada proses aktivasi adsorben limbah cangkang telur ayam.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah cangkang telur ayam, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck), H_2SO_4 (Merck), HCl (Merck), HNO_3 (Merck), akuades, kertas saring dan air kolong pertambangan timah aktif yang diperoleh dari daerah Ketapang.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur, gelas kimia, erlenmeyer, pengaduk magnetit, pH meter, alu dan mortar, batang pengaduk, mesh 200, neraca analitik, corong, *hotplate*, aluminium foil, *wrapping*, oven, *X-Ray Diffraction* (XRD) (Merck Rugaku Miniflex), *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Merck PANalytical Epsilon 3), *Surface Area Analyzer* (SAA) (Merck *quantachrome Nova touch 4LX*), dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Prosedur

Preparasi Adsorben

Cangkang telur ayam dicuci dengan air bersih dan direndam dalam air panas hingga sisa lapisan membran terlepas selama 15 menit, kemudian cangkang telur dikeringkan lalu dihaluskan dengan menggunakan alu dan mortar. Selanjutnya serbuk diayak menggunakan ayakan *mesh* 200 dan dikeringkan dengan cara dipanaskan dalam oven pada suhu 100°C selama 15 menit (Asip, 2008).

Aktivasi Adsorben

Adsorben masing-masing direndam didalam larutan H_2SO_4 0,1 M, HCl 0,1 M, HNO_3 0,1 M, selama 48 jam. Serbuk cangkang telur ayam yang telah direndam kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dinetralkan dengan akuades hingga pH 7. Adsorben yang telah teraktivasi dioven dengan suhu 100°C selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian XRD, XRF dan SAA pada cangkang telur ayam yang telah teraktivasi (Hajar, 2016). Berdasarkan hasil karakterisasi adsorben yang telah diaktivasi menggunakan berbagai jenis asam yang memiliki luas permukaan tertinggi, nilai difraksi yang baik atau kadar CaO tertinggi akan dilanjutkan untuk ke proses adsorpsi logam Cu.

Pembuatan Larutan Standar Cu^{2+}

Larutan induk Cu^{2+} konsentrasi 500 ppm dibuat dengan cara melarutkan 0,98 gram padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam 500 mL akuades. Larutan Cu^{2+} diencerkan menjadi 10 ppm dengan cara mengambil 100 mL larutan Cu kedalam labu ukur 500 mL (Satriani, 2016).

Adsorpsi Logam Cu Pada Air Kolong Menggunakan Cangkang Telur Teraktivasi

Air kolong bekas pertambangan timah di daerah Ketapang Pangkalpinang, Kepulauan Bangka Belitung. Sampel diambil berdasarkan SNI 6989.59-2008 yaitu Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Sampel air kolong ditambahkan HNO_3 2M sebanyak 5 tetes kedalam 100 mL air kolong. Selanjutnya dianalisa

menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) (Rusnawati, dkk., 2018).

Pengaruh Adsorben Dengan Berbagai Aktivasi Pada Adsorpsi Logam Cu

Adsorben yang telah diaktivasi masing-masing ditimbang sebanyak 8 gram dan dimasukkan kedalam larutan air kolong sebanyak 20 mL. Campuran diaduk menggunakan pengaduk magnetit selama 40 menit. Filtrat selanjutnya dianalisa menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

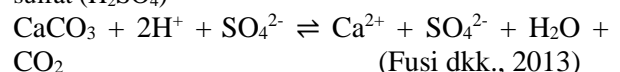
Preparasi Adsorben

Preparasi Adsorben dari cangkang telur telah melalui proses perendaman menggunakan air bersih untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada permukaan serta bagian dalam cangkang telur. Perendaman dengan air panas dilakukan selama 15 menit untuk melepaskan lapisan kutikula pada cangkang telur. Lapisan kutikula dapat menutup pori-pori sehingga mempengaruhi proses penyerapan (Romanoff, 1963). Pengerinan dibawah sinar matahari dilakukan untuk mengurangi kadar air pada cangkang telur serta memudahkan dalam proses penghalusan. Cangkang telur yang telah dikeringkan selanjutnya dihaluskan dan disaring hingga halus untuk menurunkan ukuran partikel dan diayak menggunakan ayakan ukuran *mesh* 200 agar serbuk yang dihasilkan homogen (Hariyati dkk, 2019). Pemanasan serbuk cangkang telur menggunakan oven selama 15 menit bertujuan untuk membuka pori-pori dari permukaan adsorben agar dapat mengadsorpsi dengan maksimal (Misfadhila, 2018).

Aktivasi Adsorben

Adsorben yang sudah diaktivasi mempunyai kemampuan adsorpsi ion logam seperti Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{2+} , Zn^{2+} dan Cd^{2+} karena memiliki ruang kosong adsorben dengan ukuran diameter yang besar dapat menyebabkan ion-ion mudah masuk dan berinteraksi (Maslahat dkk., 2015). Adapun reaksi yang terjadi pada saat aktivasi cangkang telur menggunakan berbagai jenis asam seperti : H_2SO_4 , HCl dan HNO_3 sebagai berikut.

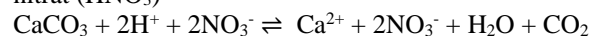
1. Reaksi cangkang telur yang diaktivasi dengan asam sulfat (H_2SO_4)



2. Reaksi cangkang telur yang diaktivasi dengan asam klorida (HCl)



3. Reaksi cangkang telur yang diaktivasi dengan asam nitrat (HNO_3)

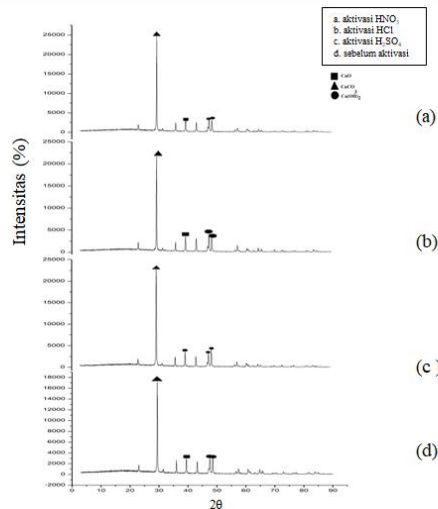


Karakterisasi Cangkang Telur

Analisis XRD

Berdasarkan difraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 1. diperoleh menunjukkan adanya fraksi utama pada CaCO_3 yang ditunjukkan oleh puncak-puncak

pada sudut 2θ : 23° ; $29,4^\circ$; $39,4^\circ$; 43° yang sesuai dengan JCPDS No. 47-1743 memiliki puncak pada $2\theta = 23,0^\circ$; $29,5^\circ$; $36,0^\circ$; $39,7^\circ$; $43,3^\circ$; $48,5^\circ$ dan $57,0^\circ$ (Render dkk, 2016). Puncak pada $2\theta = 29,4^\circ$ juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan Haryono dkk (2016) yang menyatakan bahwa senyawa CaCO_3 pada sudut $29,4^\circ$. Dari hasil analisis, CaO memiliki puncak pada sudut $2\theta = 32,22^\circ$; $33,9^\circ$; $47,01^\circ$; $53,13^\circ$ dan $62,46^\circ$ dan bersesuaian dengan hasil analisis yang dilakukan bahwa diperoleh puncak CaO pada sudut 32° dan telah sesuai dengan JCPDS No. 82-1691. Puncak Ca(OH)_2 berdasarkan JCPDS No. 84-1263 berada pada sudut $2\theta = 18,02^\circ$; $28,66^\circ$; $34,13^\circ$; dan 47° . Hal ini juga bersesuaian dengan data yang diperoleh yaitu puncak Ca(OH)_2 muncul pada $2\theta = 47,1^\circ$.



Gambar 1. Hasil analisis XRD pada cangkang telur (a) aktivasi HNO_3 (b) aktivasi HCl (c) aktivasi H_2SO_4 (d) sebelum aktivasi

Aktivasi cangkang telur menggunakan HNO_3 terlihat lebih signifikan dibandingkan dengan HCl dan H_2SO_4 . Hal ini dapat terlihat secara jelas pada intensitas puncak tertingginya yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. HNO_3 bersifat sangat polar sehingga kemampuan melarutkan mineral-mineral polar juga tinggi, sebagian besar senyawa-senyawa dalam adsorben juga merupakan senyawa polar.

Analisis XRF

Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Cangkang Telur Menggunakan Xrf

Unsur	Tanpa	Teraktivasi	Teraktivasi	Teraktivasi
	Aktivasi (%)	H_2SO_4 (%)	HCl (%)	HNO_3 (%)
Ca	97,185	97,749	97,501	96,488
S	0,952	0,547	0,599	1,164
P	0,487	0,602	0,652	0,533
Ti	0,003	0,001	0,018	-

Berdasarkan Tabel 1. dapat dilihat bahwa kandungan cangkang telur sebelum dan setelah aktivasi menggunakan H_2SO_4 , HCl , dan HNO_3 didapatkan unsur S (sulfur), P (fosfor), dan Ti (titanium) dalam jumlah yang sedikit. Kandungan Ca lebih tinggi yang dinyatakan dalam satuan % massa. Hal ini menunjukkan bahwa sampel serbuk cangkang telur

yang teraktivasi asam mengandung Ca dengan kemurnian yang tinggi.

Penggunaan asam kuat sebagai pelarut bertujuan untuk meningkatkan hasil rendemen. Aktivasi menggunakan H_2SO_4 terlihat lebih efektif karena H_2SO_4 merupakan senyawa asam kuat yang stabil dan dapat terurai sempurna didalam air. Konsentrasi asam yang lebih tinggi menyebabkan semakin banyak impuritas yang dieliminasi sehingga Ca yang dihasilkan lebih murni (Shohihatun, 2020). Kandungan sulfur dan titanium mengalami penurunan dengan adanya penambahan aktivator pada cangkang telur karena proses aktivasi dengan asam mampu melarutkan pengotor dalam cangkang telur sehingga berpengaruh terhadap penurunan ion pengganggu seperti sulfur dan titanium. Kandungan fosfor mengalami peningkatan setelah aktivasi. Peningkatan unsur Ca setelah diaktivasi disebabkan oleh pengotor yang terlarut pada proses aktivasi sehingga diperoleh kadar CaCO_3 yaitu 90-98% (Ahmed dkk., 2008).

Pengukuran Luas Permukaan Adsorben

Berdasarkan Tabel 2. luas permukaan adsorben paling besar didapatkan pada cangkang telur teraktivasi HCl yaitu sebesar $63,907 \text{ m}^2/\text{g}$. Aktivasi menggunakan H_2SO_4 dan HNO_3 diketahui dapat mengurangi kapasitas luas permukaan (Ademiluyi, 2012). Hal ini ditandai dengan nilai luas permukaan pada aktivasi H_2SO_4 memiliki luas permukaan sebesar $3,972 \text{ m}^2/\text{g}$ dan aktivasi HNO_3 sebesar $2,430 \text{ m}^2/\text{g}$. Aktivasi kimia menggunakan HCl mengakibatkan luas permukaan adsorben lebih besar dilihat dari hasil *Surface Area Analyzer* (SAA). Penambahan HCl dapat menurunkan unsur pengganggu yang terikat pada permukaan sehingga dapat membersihkan permukaan pori sehingga luas permukaan adsorben dapat lebih optimal untuk menyerap ion Cu. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Jasinda (2013) menyatakan bahwa cangkang telur non aktivasi memiliki luas permukaan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan cangkang telur yang telah mengalami aktivasi. Luas permukaan cangkang telur sebelum aktivasi yaitu sebesar $12,840 \text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan yang teraktivasi menggunakan aktivasi asam klorida sebesar $63,907 \text{ m}^2/\text{g}$.

Tabel 2. Hasil Pengujian Luas Permukaan Adsorben

No	Adsorben	Luas Permukaan (m^2/g)
1	Cangkang telur teraktivasi H_2SO_4	3,972
2	Cangkang telur teraktivasi HCl	63,907
3	Cangkang telur teraktivasi HNO_3	2,430
4	Cangkang telur tanpa Aktivasi	12,840

Adsorpsi Logam Cu Pada Air Kolong Menggunakan Cangkang Telur Teraktivasi

Penambahan HNO_3 pada air kolong merupakan tahapan destruksi agar asam pendestruksi tidak menguap sehingga kadar logam yang akan dianalisis dapat terdeteksi. Suasana asam ini berguna untuk menjaga kejernihan larutan dari endapan logam. Kejernihan ini merupakan salah satu cara sampel yang akan dianalisis oleh AAS. Dari hasil pengujian sampel air kolong di daerah Ketapang, Pangkalpinang

menggunakan AAS diperoleh konsentrasi logam tembaga sebesar 0,4363 ppm. Hasil tersebut didapat dari perhitungan pada kurva standar larutan Cu yang mempunyai persamaan $Y = 0,9974X - 0,9871$ dengan koefisien regresi $R^2 = 1$. Konsentrasi tembaga pada air kolong tersebut selanjutnya digunakan sebagai konsentrasi awal Cu sebelum perlakuan.

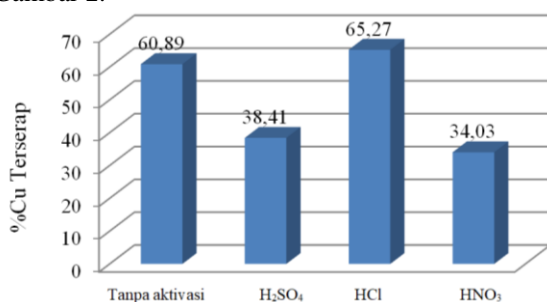
Pengaruh Adsorben Pada Aktivasi Adsorpsi Logam Cu

Tabel 3. Pengaruh Adsorben pada Aktivasi Adsorpsi Logam Cu

Adsorben	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Cx (mg/L)	%Cu Terserap
Tanpa Aktivasi	0,4363	0,1706	0,2657	60,89
Aktivasi H ₂ SO ₄	0,4363	0,1427	0,2936	38,41
Aktivasi HCl	0,4363	0,1515	0,2848	65,27
Aktivasi HNO ₃	0,4363	0,2878	0,1485	34,03

*) Co = konsentrasi awal larutan (mg/L)
Ce = konsentrasi akhir (mg/L)
Cx = konsentrasi logam Cu yang terserap

Berdasarkan Tabel 3, penurunan kadar Cu terjadi pada cangkang telur teraktivasi HCl dengan kemampuan penurunan sebesar 65,27%, sedangkan penurunan kadar Cu terendah terjadi pada aktivasi menggunakan HNO₃ dengan kemampuan penurunan sebesar 34,03%. Pada cangkang telur teraktivasi H₂SO₄ memiliki kemampuan penurunan sebesar 38,41% dan pada cangkang telur tanpa aktivasi didapatkan hasil penurunan kadar Cu sebesar 60,89%. HCl terdisosiasi sempurna dalam ion penyusunnya ketika dilarutkan dalam larutan berair, sementara H₂SO₄ merupakan diprotik yaitu satu molekul asam dalam pelarut air melepaskan dua ion H⁺ dalam larutannya. H₂SO₄ terdisosiasi dalam dua langkah sehingga tidak terdisosiasi sepenuhnya karena asam sulfat yang relatif rendah. Ion Cl⁻ jauh lebih elektronegatif daripada ion NO₃⁻, sehingga menghasilkan ion H⁺ dengan mudah dalam larutan berair. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa HCl lebih asam daripada H₂SO₄ dan HNO₃ (Vogel, 1979). Adapun grafik hasil aktivasi jenis asam terhadap %Cu terserap dapat dilihat pada Gambar 2.



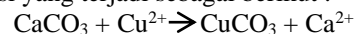
Gambar 2. Grafik pengaruh aktivasi jenis asam terhadap %Cu terserap

Berdasarkan Gambar 2, titik tertinggi jumlah logam Cu yang terserap terdapat pada aktivasi menggunakan HCl. Hal ini terlihat pada perbedaan penurunan kadar logam Cu di tiap perlakuan. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses adsorpsi antara lain yaitu jenis adsorben, jenis zat yang diserap, nilai pH, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu (Wijayanti dkk, 2018).

Saat kapasitas adsorpsi mencapai nilai maksimum, maka lamanya proses adsorpsi tersebut

diambil sebagai waktu optimum adsorpsi (Paramita, 2012). Kondisi optimum dalam proses adsorpsi dapat menghasilkan daya adsorpsi yang tinggi. Perlakuan menggunakan variasi jenis asam dengan kondisi waktu dan massa yang optimum, dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal sehingga logam Cu turun. Persentase adsorpsi logam Cu tertinggi yaitu pada aktivasi menggunakan asam klorida (HCl) sebesar 65,27%.

Adanya penurunan kadar Cu²⁺ terjadi akibat mekanisme adsorpsi pada lapisan kulit telur. Penyerapan logam berlangsung pada lapisan berkapur kulit telur yang mengandung CaCO₃ (Flores dkk, 2013). Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Mekanisme penyerapan pada logam berat yang berinteraksi dengan CaCO₃ adalah pertukaran ion, dimana ion Ca²⁺ dari permukaan cangkang telur berpindah ke larutan, sedangkan ion Cu²⁺ dari larutan tersebut berpindah ke permukaan cangkang telur (Narwati dkk, 2019). Hal ini juga didukung oleh jari-jari ionik dan valensi Cu²⁺ dan Ca yang serupa. Meskipun Cu²⁺ memiliki jari-jari ion yang lebih kecil dari Ca²⁺ (1,3 dan 1,8, masing-masing), sehingga mampu saling menggantikan posisi ion (Mazen, 2021). Cangkang telur teraktivasi asam yang mengandung CaCO₃ akan mengikat Cu²⁺ dan terbuang bersama residu padatan hasil dari penyaringan (Kurnyawaty dkk, 2020).

Banyak reaksi kimia yang terjadi disertai timbulnya endapan atau gas, dengan ditandai perubahan warna yang lebih cerah dan bersih. Reaksi kimia dapat diamati dengan habisnya zat yang bereaksi disertai dengan produk baru yang dihasilkan (Fitrony dkk, 2013).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, pengaruh jenis asam terhadap proses aktivasi adsorben cangkang telur dipelajari melalui karakteristik XRD dan XRF, diperoleh hasil bahwa masing-masing adsorben memiliki nilai 2θ yang hampir bersesuaian dengan data JCPDS No. 47-1743 CaCO₃ yang ditunjukkan 2θ pada sudut 29,4°. Intensitas tertinggi terdapat pada aktivasi menggunakan asam nitrat. Berdasarkan hasil XRF, kandungan Ca tertinggi yaitu pada aktivasi menggunakan asam sulfat.

Berdasarkan hasil SAA luas permukaan adsorben tertinggi diperoleh pada cangkang telur aktivasi menggunakan asam klorida yaitu 63,907 m²/g. Efisiensi adsorpsi logam Cu tertinggi menggunakan adsorben teraktivasi asam klorida sebesar 65,27%.

UCAPAN TERIMA KASIH (STYLE: SUB JUDUL)

Ucapan terima kasih diberikan kepada dosen pembimbing atau individu yang membantu dalam penelitian, dan pihak yang membantu menganalisis dan mengolah data/sampel.

REFERENSI

- Ademiluyi, F. T., David, E. 2012. Effect of Chemical Activation on the Adsorption of Heavy Metals Using Activated Carbons from Waste Materials. *ISRN Chemical Engineering*. Article ID 674209, 5 pages.
- Ahmad, M., Usman, A. R. A., Lee, S. S., Kim, S. C., Joo, J. H., Yang, J. E., & Ok, Y. S. 2012. Eggshell and coral wastes as low cost sorbents for the removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Cu²⁺ from aqueous solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 198-204.
- Ahmed, M., & Ahsan, S. 2008. Synthesis of Ca-Hydroxiapatite Bioceramic From Egg Shell and its Characterization. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.*, 43(4), 501-512.
- Ambarwati, S. 2005. Adsorpsi Pewarna Naftol dengan Zeolit sebagai Adsorben, Skripsi, *Juridik Kimia*, FMIPA, UNY
- Amirani, A., Hendarto, B., & Hadiyanto, A. 2011. Bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada kerang darah (*Anadara granosa* L.) dan kerang bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) di perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2), 45-50.
- Anti, R. S. J., Drastinawati, dan Yenti. S. R. 2018. Adsorpsi Tembaga (Cu (II)) Menggunakan Limbah Cangkang Kepiting. *Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau. Jom FTEKNIK Volume 5 Edisi 2*
- Apriliani, A. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. *Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Syarif Hidayatullah*, 54-56.
- Asip, F. M. 2008. Uji Efektifitas cangkang Telur Dalam Mengadsorpsi Ion Fe Dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, Volume 15 (2), 22-26.
- Chojnacka, K. 2005. Biosorption of Cr (III) ions by eggshells. *Journal of Hazardous Materials B121*, 167-173.
- Darmono, 2004. Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungannya dengan Toksisitas Logam Senyawa. UI Press. Jakarta : 55-56, 65-69
- Fitrony., Rizqy., Fauzi., Qadariyah, L., & Mahfud. 2013. Pembuatan Kristal Tembaga Sulfat Pentahidrat (CuSO₄.5H₂O) Dari Tembaga Bekas Kumparan. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 37-49.
- Flores-cano, J.V., Leyva-ramos, R., Mendoza-barron, J., Labrada-delgado, G.J., Guerrero-coronado, R.M., & Aragón-pi, A. 2013. Sorption Mechanism of Cd(II) From Water Solution onto Chicken Eggshell. *Applied Surface Science*, 276, 628-690.
- Fusi, L., Primicerio, M., Monti, A. 2013. Model For Calcium Carbonate Neutralization in the Presence of Armoring. *Applied Mathematical Modelling*. 1-27.
- Hajar, E. S. 2016. Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ Dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *5(1)*, 1-8.
- Hidayanti, E., Aryam R., Veny, L. 2015. Pengolahan Logam Fe Dan Mn Dalam Air Dengan Metode Ozonasi (O₃) Dan Adsorpsi Pada Danau Bekas Tambang Di Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol 5 No 1.
- Jasinda. 2013. Penjerapan logam kadmium (Cd²⁺) dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek Yang Telah Diaktivasi, *Jurnal Teknik Kimia*, 2 (3), Universitas Sumatera Utara.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Tentang Ambang Batas Logam Cu di Lingkungan
- Kurnyawaty, N., Fitriyana., Kusumattaqiin, F., Rinda, R.S.P., Andira, A. 2020. Identifikasi Potensi Cangkang Kerang Darah Lokal Desa Kutai Lama Dan Pemanfaatannya Untuk Penurunan Kadar Logam Besi (Fe). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 17-22.
- Lyle F. Albright. 2009. "Albright's Chemical Engineering Handbook", USA, CRC Press.
- Male, Y. M. 2017. Analysis of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Metals Content On Sediment Inner Part of Ambon Bay. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 5(1), 434-443.
- Maslahat, M., Taufik. A., Subagja. P. W. 2015. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Biosorben Untuk Adsorpsi Logam Pb dan Cd. *Jurusan Kimia FMIPA Universitas Nusa Bangsa, Bogor. Vol 5, No 1: Sains Natural*.
- Mazen, A., Juma'a, A., Ahmed, S. 2021 Effect of Ca²⁺ Replacement with Cu²⁺ Ions in Brushite on the Phase Composition and Crystal Structure. *Journal Minerals*. 11, 1028.
- Narwati., Suryono, H., & Setiawan. 2019. Model Peningkatan Kapasitas Adsorpsi Cangkang Telur Ayam Dengan Memanfaatkan Ekstrak Jeruk Limau (*Citrus amblycarpa*) Untuk Meminimasi Kadar Timbal (Pb) Kerang arah (*Anadara granosa*) Melalui Alat "Stirrer Chamber". *Laporan Akhir Kesehatan Lingkungan. Politeknik Kesehatan Kemenkes Surabaya : Surabaya*.
- Nurfaizin dan P. R. Matitaputty. 2015. Penggunaan kapang karotenogenik *Neurospora* dalam fermentasi limbah pertanian untuk pakan ternak unggas. *Wartazoa. Vol. 25 No.4 : 189-196*.
- Nyoman, W. P. I. 2012. Adsorpsi logam berat pada limbah industri elektroplating menggunakan kulit telur. *Skripsi Pogram Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Unversitas Pembangunan Nasional Veteran Jatim: tidak diterbitkan*.
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pridyanti, D. D., Moelyaningrum, A. D., dan Ningrum, P.T. 2018. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kupang (*Corbula faba*) Teraktivasi Termal Sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr⁶⁺) Pada Limbah Cair Batik. *HIBU-ALAMO: Seri Ilmu Ilmu Alam dan Kesehatan*, 2(2), 78-83
- Render D, Samuel T, King H, Vig , Jeelani S, Babu RJ, Rangari V. 2016. Biomaterial-Derived Calcium Carbonate Nanoparticles for Enteric Drug Delivery. *Journal of Nanomaterials*. 1(1): 1-8

- Satriani, D. N. 2016. Serbuk Dari Limbah Cangkang Telur Ayam Ras Sebagai Adsorben Terhadap Logam Timbal (Pb). *Jurnal Akademika Kimia*, 5(3), 103-108.
- Sawarni. 1989. Pengaruh Jenis Bahan Baku, Suhu dan Waktu Aktivasi Terhadap Mutu dan Rendemen Karbon Aktif Hasil Aktivasi "Steam". Fakultas Teknologi Pertanian. IPB; Bandung.
- Setiabudi, A., Hardian, R. dan Muzakir, A. 2012, Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia, UPI Press, Bandung.
- Silalahi, T.A. 2018. Recycle dan Reuse Kalsium Karbonat Dari Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben. *Skripsi*, Program Studi Kimia: Universitas Sumatera Utara.
- Shohihatun, B., Lisnawaty, S. 2021. Activation Of Sinabung Mount Volcanic Ash Using Various Mineral Acids. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST-UNIMED)*. Volume 04, No 1, pp 01-04.
- Stevano Victor M., Bayu Andhika, dan Isna Syaughiah. 2016. Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Sebagai Adsorben Logam Berat Seng (Zn). *Lambung mangkrut. Jurnal Konversi* Vol. 5, No 1.
- Stumm, W., dan Morgan, J.J. 1981. *Aquatic Chemistry : Chemical Equilibria and Rates in Natural Water*, Third Edition. John Willey and Sons. Inc., New York.
- Sulistiyani, Priyambono E., Yogantari, L. 2015. Purifikasi Silika Dari Pasir Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Bahan Baku Fotovoltaik. *Jurnal Sains Dasar*. 4(2) 122-12.
- Syauqiyah, Isna. 2011, "Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif", *Jurnal Info Teknik*, Vol. 12, No. 1
- Viriya, Piti. 2018. Prarancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Klorida Dari Kalsium Karbonat (Limestone) Dan Asam Klorida Dengan Kapasitas 190.000 Ton/Tahun. *Undergraduate Thesis*, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya.
- Vogel. 1979. *Buku Teks Vogel Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Edisi ke-5. Terjemahan Setiono dan Hadyana Pudjaatmaka. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- Wijayanti, A., Susatyo, B.E., Kurniawan, C. 2018. Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7 (3).
- Yusuf, Maulana. 2011. Model Pengembangan Kolong Terpadu Pasca Penambangan Timah di Wilayah Bangka Belitung. *Jurnal Makalah Ilmiah Sriwijaya*, Vol 18, No 11, April 2011. Halaman 669-681