

**PEMANFAATAN LIMBAH B3 *FLY ASH* (ABU TERBANG)
BATUBARA PLTU PAITON UNIT 5&6 SEBAGAI ADSORBEN
LOGAM BERAT KADMIUM (Cd)**

***The Utilization of Coal Fly Ash Hazardous Waste Steam Power Plants
Units 5&6 As The Adsorbent of Heavy Metal Cadmium (Cd)***

Ayu Arie P., Eko Siswoyo, Lutfia Isna A.

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia.

ayuariepratiwi@gmail.com , eko_siswoyo@uii.ac.id , lutfia.isna@uii.ac.id

ABSTRAK

Pembangkit listrik merupakan salah satu penyumbang terbesar fly ash di Indonesia karena penggunaan batubara sebagai bahan bakar. Limbah fly ash yang relatif besar ini dapat menimbulkan dampak pencemaran yang membahayakan, sehingga perlu dipikirkan alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan fly ash sebagai adsorben dalam menyerap logam berat kadmium (Cd) dan mengetahui kondisi optimum fly ash dalam mengadsorpsi logam berat kadmium (Cd) sekaligus pemanfaatannya, dengan dua perlakuan fly ash yaitu fly ash diaktivasi menggunakan NaOH dan tanpa aktivasi. Kemudian dikarakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Penentuan kondisi optimum adsorpsi Cd dilakukan dengan metode batch yaitu pengujian variasi massa adsorben, variasi pH, variasi waktu kontak, dan variasi konsentrasi serta melakukan perhitungan kapasitas adsorpsi logam berat kadmium (Cd) oleh fly ash. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum adsorpsi logam berat kadmium (Cd) terjadi pada massa adsorben 400 mg, pH 9, waktu kontak 30 menit, dengan kapasitas adsorpsi yang diperoleh sebesar 8,194 mg/g.

Kata kunci : adsorpsi, fly ash, kadmium

ABSTRACT

The power plant is one of the largest contributors of fly ash in Indonesia due to the use of coal as fuel. This relatively large waste of fly ash can cause harmful pollution impacts, so it is important to consider alternatives to overcome the problem. This research was conducted to know the ability of fly ash as adsorbent in adsorbing heavy metal cadmium (Cd) and to know the optimum condition of fly ash in adsorbing heavy metal cadmium (Cd) as well as its utilization, with two treatments of fly ash i.e. activation fly ash using NaOH and without activation. And then characterized by using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The determination of optimum conditions on the adsorption of Cd was done by batch method that is testing the variation of adsorbent mass, pH variation, contact time variation, and concentration variation, then calculate the cadmium heavy metal adsorption capacity (Cd) by fly ash. The results showed that the optimum condition of cadmium heavy metal adsorption (Cd) occurred at 400 mg of adsorbent mass, pH 9, contact time at 30 minutes, with an adsorption capacity was 8,194 mg/g.

Keywords : *adsorption, fly ash, cadmium*

PENDAHULUAN

Kenaikan bahan bakar minyak telah mendorong banyak industri beralih ke batubara sebagai sumber energi. Salah satu contoh industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar adalah PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Penggunaan batubara sebagai sumber energi menjadi pilihan yang paling diminati oleh para pengusaha dengan alasan lebih menghemat biaya operasional dan ketersediaannya di Indonesia juga cukup melimpah. Sisa hasil pembakaran batubara akan menghasilkan limbah yang diantaranya berupa *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar) (Kartika, 2010).

Banyaknya industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar meninggalkan sejumlah permasalahan serius karena *fly ash* yang dihasilkan mengandung logam berat yang signifikan jumlahnya (Suprpto, 2009). Pelepasan abu sisa pembakaran baik berupa *fly ash* maupun *bottom ash* akan berdampak buruk bagi lingkungan sehingga perlu adanya penanganan khusus untuk mengatasi dampak tersebut (Suprpto, 2009). Saat ini sebagian besar *fly ash* yang dihasilkan hanya terbuang begitu saja.

Kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik. Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium (Cd) berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Istarani dan Pandebesie, 2014).

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dapat dilakukan upaya untuk memanfaatkan *fly ash* yang diaktivasi dengan larutan NaOH sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd). Penggunaan *fly ash* sebagai adsorben logam berat diharapkan selain dapat mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat penimbunan limbah *fly ash*, juga dapat menangani masalah pencemaran akibat logam berat.

METODE PENELITIAN

❖ Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama bulan April hingga September 2017 di Laboratorium Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan dan Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.

❖ Metode Penelitian

- Persiapan Adsorben

Fly ash yang akan digunakan sebagai adsorben dicuci terlebih dahulu kemudian dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 110⁰C selama 3 jam, lalu dimasukkan ke dalam. Selanjutnya *fly ash* diayak dengan ayakan berukuran 200 mesh.

- Aktivasi Adsorben

Sebanyak 30 gram *fly ash* dicampurkan dengan 300 mL larutan NaOH 3M. Campuran tersebut kemudian direndam selama 24 jam dan ditutup menggunakan aluminium foil. Setelah 24 jam, campuran *fly ash* dengan NaOH tersebut disaring dan dicuci dengan menggunakan aquades hingga pH netral. Adsorben yang sudah dalam kondisi pH netral selanjutnya dikeringkan dengan temperatur 110⁰C selama 5 jam, kemudian diayak dengan ayakan berukuran 200 mesh.

- Karakterisasi Adsorben

Fly Ash yang digunakan sebagai adsorben dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi dari *fly ash*, serta *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada adsorben.

Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Limbah Buatan oleh *Fly Ash*

- Penentuan Massa Optimum Adsorben

Variasi massa adsorben yang digunakan untuk proses adsorpsi ini yaitu 100 mg, 200 mg, 300 mg, 400 mg, dan 500 mg. Larutan kadmium (Cd) sebanyak 50 mL dengan konsentrasi 10 ppm ditambah dengan variasi massa adsorben diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama 60 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu disaring menggunakan kertas saring dan didestruksi dengan menambahkan larutan HNO₃ pekat, kemudian diuji menggunakan AAS. Massa adsorben yang menghasilkan penyerapan optimum digunakan untuk pengujian variasi pH.

- Penentuan pH Optimum Adsorben

Massa adsorben optimum digunakan untuk menguji kapasitas adsorpsi dengan berbagai kondisi pH. Variasi pH yang digunakan yaitu 3, 5, 7, 9, dan 11. Untuk mengatur pH sesuai dengan kondisi pH yang diinginkan digunakan larutan NaOH 0,1 M dan HCl 0,1 M. Larutan kadmium (Cd) sebanyak 50 mL dengan konsentrasi 10 ppm dicampurkan dengan massa adsorben optimum, diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama 60 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu disaring menggunakan kertas saring dan didestruksi dengan menambahkan larutan HNO₃ pekat, kemudian diuji menggunakan AAS. Kondisi pH yang menghasilkan penyerapan optimum digunakan untuk pengujian selanjutnya.

- Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorben

Variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Larutan kadmium (Cd) sebanyak 50 mL dengan konsentrasi 10 ppm dicampurkan dengan massa adsorben dan kondisi pH optimum, diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama waktu yang ditentukan menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu disaring menggunakan kertas saring dan didestruksi dengan menambahkan larutan HNO₃ pekat, kemudian diuji menggunakan AAS.

- Penentuan Konsentrasi Kadmium (Cd) Optimum

Variasi konsentrasi optimum yang digunakan yaitu 10, 50, 75, 175, dan 200 ppm. Larutan kadmium (Cd) sebanyak 50 mL dengan variasi konsentrasi yang ditentukan dicampurkan dengan massa adsorben dan kondisi pH optimum, diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu disaring menggunakan kertas saring

dan didestruksi dengan menambahkan larutan HNO₃ pekat, kemudian diuji menggunakan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Persiapan Adsorben

Pada tahap persiapan, *fly ash* yang akan digunakan sebagai adsorben dicuci terlebih dahulu kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperatur 110⁰C selama 3 jam, lalu dimasukkan ke dalam desikator. Proses pengeringan dan penyimpanan dalam desikator bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dan menetralkan suhunya (Irawan dkk, 2014). Selanjutnya *fly ash* diayak dengan ayakan berukuran 200 mesh untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil dan homogen. Ukuran partikel yang lebih kecil akan menyebabkan luas permukaan *fly ash* semakin besar sehingga ion logam Cd yang teradsorpsi oleh adsorben semakin banyak.

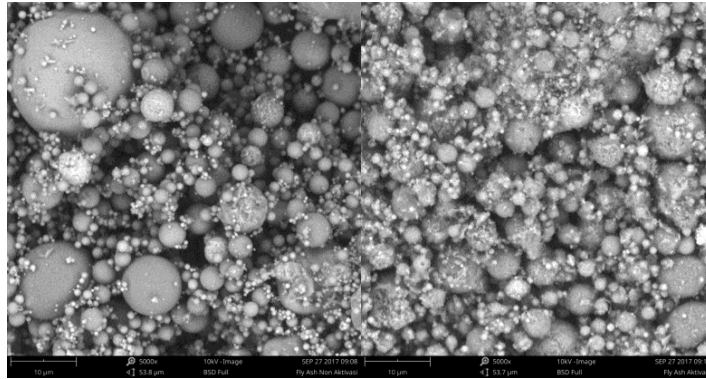
- Aktivasi Adsorben

Fly ash yang diaktivasi dengan NaOH menyebabkan proses destruksi yang berdampak pada meningkatnya luas permukaan adsorben. *Fly ash* memiliki lapisan permukaan partikel yang berbentuk glassy sangat rapat dan stabil. Karena berpori dan *amorf* inilah, maka gugus di dalam lapisan *fly ash* memiliki aktifitas yang tinggi. Penghancuran lapisan ini dapat dilakukan dengan penambahan larutan yang memiliki kebasaan tinggi seperti NaOH. Larutan basa ini menyebabkan lapisan luar yang rapat menjadi rusak, sehingga gugus-gugus aktif yang ada di dalamnya, seperti silika dan alumina, keluar ke permukaan *fly ash*. Bila konsentrasi OH⁻ cukup tinggi, rantai *glassy* silika-alumina yang rapat akan cepat rusak dan menghasilkan sejumlah besar gugus-gugus yang aktif (Yan, S. dkk, 2003 dan Goni, S. dkk, 2003).

- Karakterisasi Adsorben

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Morfologi *fly ash* tanpa aktivasi dan aktivasi dapat dilihat pada Gambar 1.



(a)

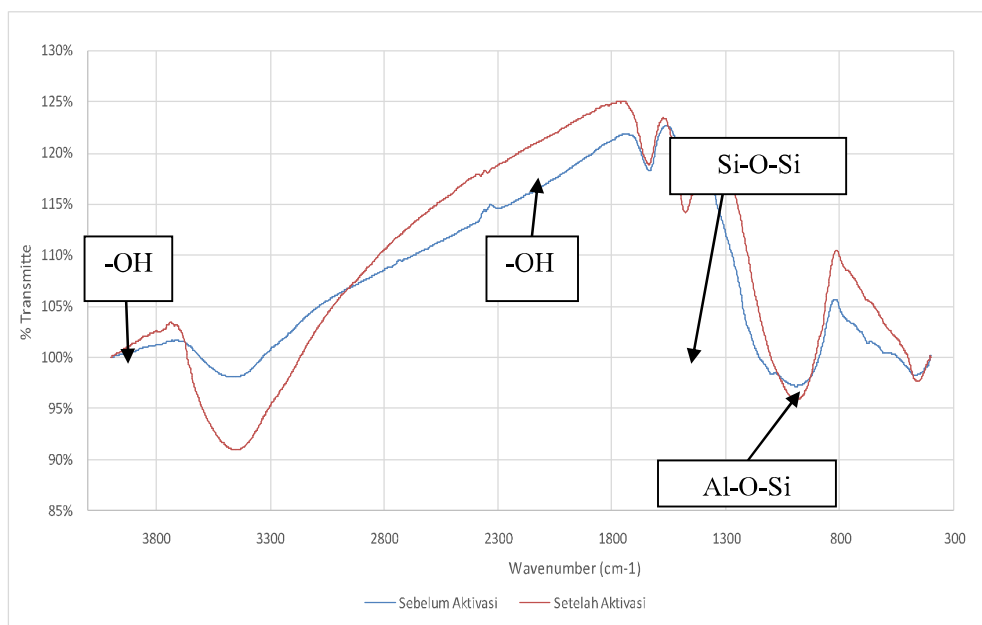
(b)

Gambar 1 SEM *Fly Ash* Tanpa Aktivasi Perbesaran 5000x (a) SEM *Fly Ash* Aktivasi dengan NaOH Perbesaran 5000x (b)

Hasil analisis morfologi *fly ash* menggunakan SEM menunjukkan bahwa *fly ash* tanpa aktivasi mempunyai bentuk seperti bola dengan permukaan yang halus. Partikel ini hasil dari pendinginan produk yang meleleh hasil pembakaran batubara (White dan Case, 1990). Sedangkan *fly ash* yang diaktivasi terdapat lebih banyak butiran partikel kecil dalam *fly ash* dibandingkan adsorben tanpa aktivasi. Hal ini dikarenakan terjadinya proses destruksi oleh NaOH yang mengakibatkan terbentuknya partikel-partikel kecil.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Hasil FTIR berupa spektra dapat dilihat pada Gambar 2.



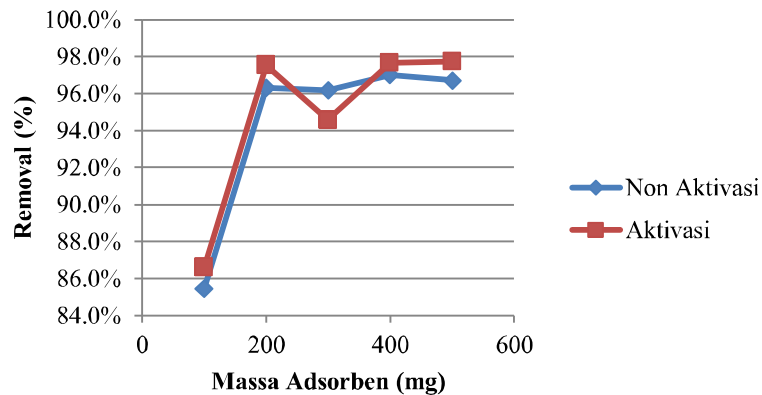
Gambar 2 Spektra FTIR dari *Fly Ash* Tanpa Aktivasi dan Aktivasi

Hasil analisis *fly ash* tanpa aktivasi dan aktivasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dari spektra FTIR pada Gambar 2, *fly ash* tanpa aktivasi maupun yang diaktivasi pada panjang gelombang 3410-3455 cm^{-1} dan 1645 cm^{-1} yang menunjukkan adanya peregangan -OH dan pembengkokan -OH. Hal ini menunjukkan adanya molekul air yang diserap atau terperangkap dalam rongga besar kerangka polimerik. Pada panjang gelombang lebih rendah dari 1300 cm^{-1} dianggap sebagai peregangan asimetris Si-O-Si (970-1090 cm^{-1}) dan getaran Al-O-Si (500-750 cm^{-1}) (Liu, 2017).

Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Limbah Buatan oleh *Fly Ash*

- Massa Optimum Adsorben

Pengujian variasi massa adsorben ditujukan untuk mengetahui massa adsorben optimum yang akan digunakan untuk menyerap ion logam kadmium. Data hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



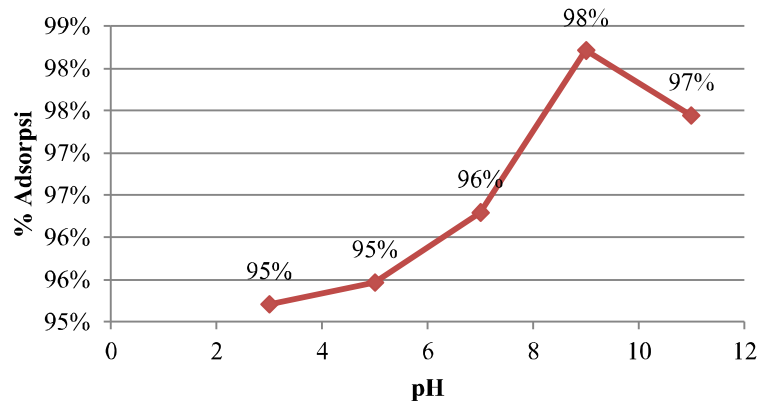
Gambar 3 Grafik Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd)

Dapat diamati bahwa massa adsorpsi Cd baik yang tidak diaktivasi maupun diaktivasi meningkat sampai penggunaan adsorben 400 mg. Pada situasi tersebut massa adsorben lebih tinggi dan tidak meningkatkan massa adsorpsi karena ekuilibrium adsorpsi telah tercapai (Irawan dkk, 2014). Setelah ekuilibrium adsorpsi tercapai, maka laju desorpsi menjadi lebih dominan daripada laju adsorpsi, sehingga Cd yang terikat dengan *fly ash* akan dilepaskan lagi ke dalam larutan.

Dengan begitu, kondisi optimum adsorpsi dicapai dengan penggunaan massa adsorben 400 mg dengan presentase adsorpsi yang tidak diaktivasi adalah 97,0% dan yang diaktivasi adalah 97,7%.

- pH Optimum Adsorben

Pengujian variasi pH dilakukan untuk mengetahui suasana pH optimum yang memberikan nilai kapasitas adsorpsi optimum dari *fly ash* terhadap Cd. Variasi pH yang digunakan untuk proses adsorpsi yaitu 3, 5, 7, 9, dan 11 yang akan mewakili pH asam, netral, serta basa. Untuk mengatur pH sesuai dengan kondisi pH yang diinginkan ditambahkan/*adjustment* dengan menggunakan larutan HCl untuk mengatur pH asam dan larutan NaOH untuk mengatur pH basa. Data hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.

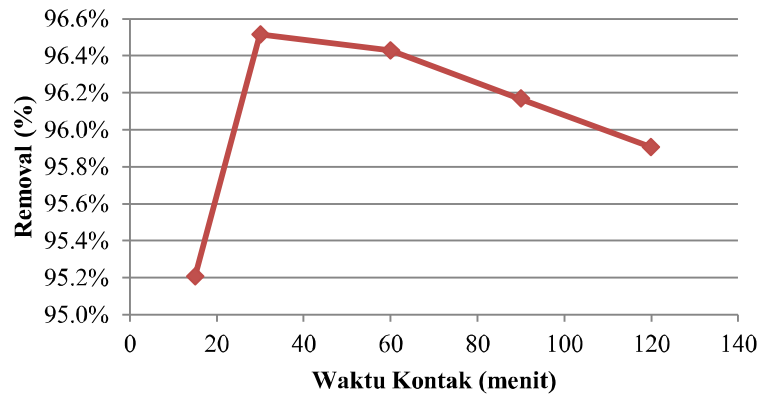


Gambar 4 Grafik Pengaruh pH Terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd)

Dapat diamati bahwa penyerapan ion kadmium bergantung pada pH larutan yang ditunjukkan dengan meningkatnya persentase adsorpsi. Peningkatan terjadi berturut-turut mulai dari pH 3 hingga 9. Pada pH rendah, anion akan muncul ke permukaan yang disebabkan banyaknya ion H^+ pada permukaan adsorben. Hal ini akan mengganggu penyerapan adsorbat. Rendahnya efisiensi penyisihan pada pH rendah disebabkan karena kekuatan ion yang tinggi yang akan menyebabkan menurunnya ikatan dari kation ke biomassa (Afrianita dkk, 2013). Penyerapan ion logam kadmium optimum ditunjukkan pada pH 9 dengan persentase adsorpsi sebesar 98%. Namun pada pH 11 terjadi penurunan. Hal tersebut mungkin dikarenakan ukuran partikel endapan kadmium berupa $Cd(OH)_2$ yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori dari *fly ash* sehingga endapan tersebut dapat teradsorpsi oleh *fly ash* (Widihati dkk, 2010).

- Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorben

Pengujian variasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu kontak optimum yang dibutuhkan oleh adsorben *fly ash* dalam penyerapan ion logam kadmium terbesar. Kapasitas penyerapan ion logam kadmium oleh adsorben *fly ash* tergantung pada seberapa lama waktu kontak yang dilakukan. Tetapi lama waktu kontak tidak selalu menjamin makin baik kualitas penyerapan, beberapa adsorben ada yang hanya membutuhkan waktu kontak sebentar untuk dapat menyerap seluruh target. Oleh karena itu, variasi waktu kontak yang digunakan untuk pengujian ini yaitu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Data hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.

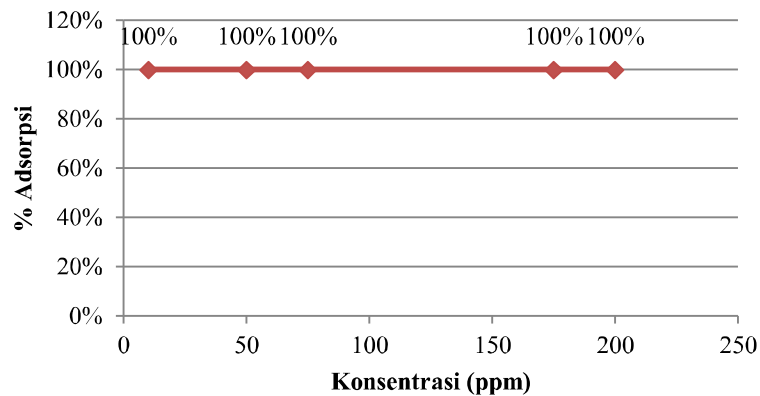


Gambar 5 Grafik Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd)

Dapat diamati dari hasil pengujian variasi waktu kontak diatas bahwa lama durasi waktu kontak tidak selalu meningkatkan persentase adsorpsi. Pada waktu kontak 15 sampai 30 menit, terjadi kenaikan adsorpsi yang signifikan. Waktu kontak optimum terjadi pada menit ke 30, dimana pada waktu tersebut terjadi penyerapan adsorpsi paling banyak, yaitu sebesar 96,5%. Pada waktu kontak 30 sampai 120 menit terjadi penurunan adsorpsi, dimana kemampuan adsorben mulai menurun. Hal ini dikarenakan gugus aktif pada permukaan adsorben telah jenuh, sehingga kurang mampu mengadsorpsi larutan Cd dengan baik. Semakin jenuh *fly ash* untuk mengadsorpsi adsorbat Cd, maka proses desorpsi sangat dimungkinkan untuk terjadi. Akibatnya adsorbat Cd yang sudah teradsorpsi oleh adsorben dapat terlepas kembali (Irawan dkk, 2014).

- **Konsentrasi Kadmium (Cd) Optimum**

Pengujian variasi konsentrasi ion logam kadmium dilakukan untuk mengetahui persentase adsorpsi oleh *fly ash*. Data hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.

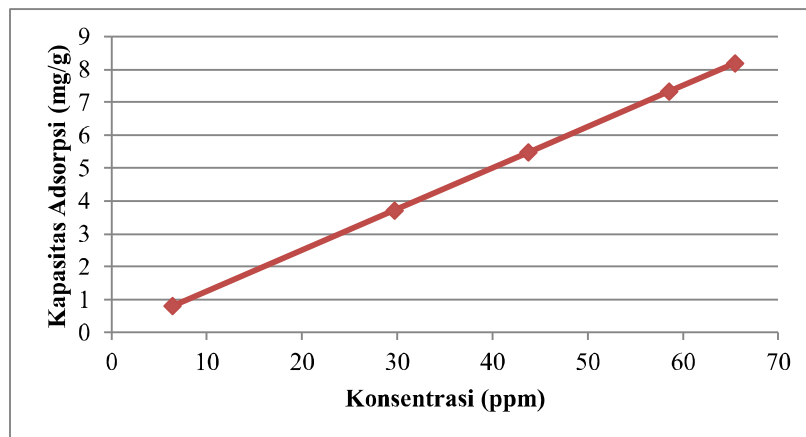


Gambar 6 Grafik Pengaruh Konsentrasi Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Logam Berat Kadmium (Cd)

Pada Gambar 6 dapat dilihat persentase adsorpsi dari masing-masing variasi konsentrasi mencapai 100%. Hal ini dikarenakan kemampuan *fly ash* sendiri dalam menyerap logam berat kadmium (Cd) sangat besar, sehingga persentase adsorpsi mencapai 100%.

- **Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Fly Ash***

Pada penelitian ini telah dilakukan adsorpsi ion logam Cd dengan menggunakan *fly ash*. Pada larutan ion logam Cd dengan variasi konsentrasi yang telah dilakukan, dilakukan perhitungan kemampuan adsorpsi ion logam Cd yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Kapasitas Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Fly Ash*

Dari hasil yang diperoleh, terlihat bahwa kemampuan adsorpsi oleh *fly ash* mencapai 100%. Hal ini dikarenakan kemampuan *fly ash* sendiri dalam menyerap logam berat kadmium (Cd) sangat besar, sehingga persentase adsorpsi mencapai 100%. Namun, jika melihat dari segi kapasitas

adsorpsi dari *fly ash* yang paling optimum adalah 65,55 ppm dengan kapasitas adsorpsi sebesar 8,194 mg/g.

Nilai kapasitas adsorpsi pada konsentrasi 6,44 ppm hingga 65,55 ppm terjadi kenaikan adsorpsi terus menerus. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi larutan ion logam Cd, maka semakin banyak partikel-partikel *fly ash* yang bertumbukan dan berinteraksi dengan larutan ion logam kadmium Cd, sehingga kemampuan adsorpsi semakin meningkat (Suci, 2012).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa penelitian yang telah dilakukan dan dibahas pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kemampuan *fly ash* yang diaktivasi, dalam hal ini pada pengujian variasi massa, dalam mengadsorpsi larutan ion logam kadmium lebih besar daripada *fly ash* yang tidak diaktivasi. *Fly ash* yang diaktivasi dengan NaOH menyebabkan proses destruksi yang berdampak pada meningkatnya luas permukaan adsorben.
2. Kondisi optimum yang diperoleh pada proses adsorpsi menggunakan sistem *batch* adsorpsi adalah massa adsorben 400 mg, pH 9, waktu kontak 30 menit, dengan kapasitas adsorpsi yang diperoleh sebesar 8,194 mg/g.

SARAN

1. Perlu adanya kajian lebih mendalam untuk terus dikembangkan dalam upaya pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben limbah logam berat.
2. Pada variasi konsentrasi, perlu dilakukan pengujian dengan konsentrasi yang lebih tinggi agar lebih terlihat perbedaan yang signifikan pada tiap variasi konsentrasi sehingga diperoleh konsentrasi kadmium optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., Dewilda, Y., dan Fitri, R. 2013. *Efisiensi dan Kapasitas Penyerapan Fly Ash sebagai Adsorben dalam Penyisihan Logam Timbal (Pb) Limbah Cair Industri Percetakan Di Kota Padang*. Jurnal Teknik Lingkungan UNAND Vol. 10, No. 1, pp 1-10.
- Goni, S., Guerrero, A., Luxan, M., and Macias, A. 2003. *Activation of The Fly Ash Pozzolan Reaction by Hydrothermal Conditions*. Chemistry Concrete Research. Vol. 33, No. 9, Pp. 1399-1405.
- Irawan, C., Atikah, dan Rumhayati, B. 2014. *Adsorption of Iron(II) by Fly Ash Adsorbent from Coal*. Journal Pure App. Chem. Res. Vol. 3, No. 3, pp 88-98.
- Istarani, F. dan Pandebesie, E.S. 2014. *Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 3, No. 1, pp 53-58.
- Kartika, S.E. 2010. *Modifikasi Limbah Fly Ash sebagai Adsorben Zat Warna Tekstil Congo Red yang Ramah Lingkungan dalam Upaya Mengatasi Pencemaran Industri Batik di Surakarta*. Surakarta: Penerbit Universitas Sebelas Maret.
- Liu, Y., Zhang, K., Feng, E., Zhao, H., and Liu, F. 2017. *Synthesis of Geopolymer Composites From A Mixture Of Ferronickel Slag and Fly Ash*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 182.
- Suci, F.C. 2012. *Pemanfaatan Abu Layang Batubara (Fly Ash) Teraktivasi sebagai adsorben Ion Logam Pb²⁺*. Skripsi Departemen Kimia. Surabaya: Unair.
- Suprpto, S. 2009. *Penanganan Limbah Pembakaran Batubara Pada Pabrik Tekstil*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, volume 5, volume 14, pp 19-31.
- White, S.C., dan Case, E.D. 1990. *Characterization of Fly Ash From Coal-Fired Power Plants*. Journal Material Science. Vol. 25. Pp. 5215-5219.
- Widihati, I. A. G., Ratnayani, O., dan Angelina, Y. 2010. *Karakterisasi Keasaman dan Luas Permukaan Tempurung Kelapa Hijau (Cocos nucifera) dan Pemanfaatannya sebagai Biosorben Ion Cd²⁺*. Jurnal Kimia Vol. 4, No. 1, pp 7-14.
- Yan, S., Cai, A.L., Yu, F.X., and Jiang, C.H. 2003. *Dissolving Mechanism of High Sulfate Fly Ash in Water*. Journal Nanjing University Technology. Vol. 25, No. 3, pp 17-22.

