

Pengurangan Kadar Amonia dari Limbah Cair Pupuk Urea dengan Proses Adsorpsi menggunakan Adsorben Bentonit

HASBUN KOSIM¹, SUSILA ARITA², DAN HERMANSYAH³

¹Mahasiswa Pengelolaan Sumberdaya Alam Universitas Sriwijaya, Dosen STIKES Muhammadiyah Palembang; ² Staf Pengajar FT Jurusan Teknik Kimia dan Pascasarjana Universitas Sriwijaya; ³Staf Pengajar Jurusan FMIPA dan Pascasarjana Universitas Sriwijaya

Abstract: The Liquid waste of the urea fertilizer plant was caused by the inefficiency of urea manufacturing process and ammonia plant equipment, urea, and packaging section. Inefficiency in equipment was due to that the age of equipment was relatively old, damages in treatment and inaccurate process that resulted ammonia exposed along the river so that it could finally pollute water biota. The research was conducted through adsorption process using bentonite adsorbent which was initially physically activated to open external porosity, so that the ammonia absorption became bigger. The adsorption process was conducted in jar test by using lab scale under the following process and treatment condition: determine the stirring used from 100-200rpm, adsorbent mass 10-40 gram/200 ml, heating temperature 100-1400C. The results of the research showed that the percentage of the highest ammonia concentration reduction in solution waste was 82,05% which was obtained in bentonite activation temperature 1200C, adsorbent mass 38 g/200 ml, stirring in 100 rpm and contact time in 60 minutes.

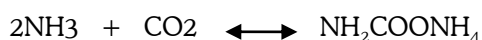
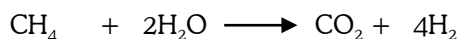
Keywords: adsorption, adsorbent, ammonia, bentonite

E-mail: hasbunkosim@gmail.com, susila_arita@yahoo.com, hermanosaka@gmail.com

1 PENDAHULUAN

Pupuk urea dibuat dari senyawa amonia dan CO₂, sedangkan amonia dibuat dari gas H₂ yang berasal dari reaksi gas alam dan uap air dan N₂ yang berasal dari udara atmosfer. Disamping di hasilkan produk utama urea dan produk samping amonia dan gas CO₂, maka hasil proses pembuatan urea juga menghasilkan limbah. Jenis limbah dari industri pupuk yaitu limbah energi dan limbah zat, limbah zat terdiri dari limbah cair, limbah gas dan limbah padat (MW. Kellogg Overseas Corp. of U.S.A : 1975).

Reaksi pembuatan NH₃ (V. Hacker & K. Kordesch) dan pupuk urea (NH₂CONH₂) yaitu :



Khusus untuk limbah cair sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 122 tahun 2004 tentang Perubahan atas keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep 51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. COD, TSS, Minyak dan Lemak, NH₃-N, TKN, pH, Debit. Nilai Baku Mutu berdasarkan Kep Men terse-

but berdasarkan Beban pencemaran sedangkan Debit air limbah maksimum 15 m³ per ton produk. Baku Mutu untuk Industri di Provinsi Sumatera Selatan Pergub No 8 th 2012 baku mutunya sama dengan Kep. Men LH no 122 th 2004. (Anonimous BLH, 2012)

Dalam pengelolaan lingkungan, pabrik pupuk telah melakukan upaya pengelolaan lingkungan dari sumber bahan baku sampai menghasilkan produk. Komitmen untuk melaksanakan kegiatan industri berwawasan lingkungan dan berkelanjutan diwujudkan melalui pengelolaan sumber daya secara efektif dan efisien. Pabrik telah menerapkan pengurangan jumlah limbah yang dibuang ke media lingkungan berdasarkan empat prinsip, yaitu: pengurangan dari sumber (*reduce*), sistem daur ulang (*recycle*), pengambilan (*recovery*) dan pemanfaatan kembali (*reuse*) secara berkelanjutan menuju produksi bersih (<http://www.pusri.co.id>).

Untuk mencapai sasaran tersebut, Pabrik pupuk juga telah mengadopsi Sistem Manajemen Lingkungan ISO-14001 dengan melibatkan seluruh karyawan untuk berperan aktif dalam melakukan penyempurnaan mutu lingkungan. Limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan (UU LH no 32 th 2009) dan mempunyai aspek lingkungan. Aspek lingkungan seperti aspek fisik-kimia limbah berupa limbah zat dan limbah energi seperti limbah cair

dapat mencemari perairan, limbah gas amonia dapat menimbulkan bau, gas karbon dioksida, NO_x dan SO_x merupakan gas rumah kaca dapat menimbulkan pemanasan global terhadap lingkungan, limbah padat seperti katalis bekas yang mudah larut dengan air dapat mencemari tanah dan air bila tidak dikelola sesuai aturan limbah B3. Limbah energi seperti kebisingan, panas dan getaran (vibrasi) juga bisa terjadi bila tidak dikelola dengan baik. Aspek biologi seperti biota air dan tumbuh-tumbuhan akan terganggu bila dicemari oleh amonia dengan konsentrasi tertentu. Aspek Sosekbud seperti terjadinya kecemburuan sosial oleh warga masyarakat yang tinggal berbatasan langsung dengan wilayah pabrik pupuk (Wardhana, 2004).

Pembangunan sumberdaya alam harus selaras, serasi dan seimbang dengan fungsi lingkungan hidup. Pengelolaan limbah dengan cara *Recovery* misalnya limbah *flue-gas* dari pabrik ammonia diolah dan dikembalikan kedalam sistem proses unit PGRU (*Purge Gas Recovery Unit*), gas amonia yang dikembalikan sekitar 0,5 % diserap dengan *Cold Box*. (<http://www.pusri.co.id>)

Usaha pabrik pupuk untuk mengelola lingkungan sudah sangat signifikan, salah satunya adalah dengan dibangunnya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), menggunakan berbagai metode baik secara fisik, kimia maupun biologi. Namun karena kadangkadang kadar amonia yang keluar dari kolam limbah cukup tinggi, IPAL yang ada tidak dapat bekerja secara maksimal. (<http://www.pusri.co.id>) maka perlu penyempurnaan terus menerus dalam pengolahan limbah cair, seperti penyempurnaan wetland yang sudah ada.

Penggunaan metode adsorpsi sering dilakukan oleh para peneliti, misalnya penggunaan karbon aktif, kitosan, batu kapur dan kapur tohor untuk menyerap kandungan logam berat pada air limbah, limbah phenol (Nassef & Eltaweel). Penggunaan bentonit untuk menyerap logam Chromium pada limbah cair telah dilakukan oleh Okoye.I.P.dan Otolu, 2012. Ding, 2011 menyatakan bahwa bentonit dapat mengusir cation logam Zinc, logam Cu(II) (Walker et al), logam merkuri (II) (Fernandez et al) dan peneliti lain menyatakan bahwa kinerja bentonit dalam menyerap logam cukup tinggi karna bentonit mempunyai porositas eksternal yang cukup besar dan daya mengembang di dalam air (Sukandarrumidi, 2009).

Untuk mengembangkan proses adsorpsi bahan baku lokal yang ada di daerah Jambi (Naswir, 2013), maka pada penelitian ini peneliti mencoba menggunakan bentonit untuk menyerap kandungan amonia

dalam limbah cair yang dikeluarkan oleh pabrik pupuk urea, karena kandungan amonia sesaat masih cukup tinggi, khususnya bila terjadi gangguan dan kerusakan pabrik.

Bentonit adalah jenis lempung yang 80 % lebih terdiri dari mineral monmorilonit $(\text{Na,Ca})_{0,33}(\text{Al,Mg})_{12}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{n}(\text{H}_2\text{O})$, terbentuk dari abu vulkanik, bersifat lunak banyak terdapat di Indonesia dan di Amerika Utara, Australia, Afrika. Bentonit juga digunakan untuk penahan longsor tanah pada saat melakukan pengeboran pada pekerjaan *borefile*. Bentonit merupakan mineral lempung yang mampu menyerap air dan mengembang. Sifat sifat tersebut menjadikan bentonit memiliki banyak kegunaan, seperti bahan kosmetik, keramik, semen, cat dan lain sebagainya. Bentonit merupakan hasil endapan aktivitas vulkanik yang berukuran sangat halus, kemudian mengalami proses pengendapan oleh air sehingga terbawa ke daerah lain. Bentuknya berwarna putih kotor, warna lapuk coklat cerah, struktur berlapis (Sukandarrumidi ; 2009).

Bentonit merupakan salah satu mineral terdapat cukup besar di alam, terutama di Indonesia, bentonit tersebar di pulau-pulau besar Indonesia, seperti di Kalimantan, Sumatera, Sulawesi dan Jawa, namun penggunaan bahan ini belum maksimal dan masih bernilai rendah. Bentonit memiliki konfigurasi 2 : 1 dimana terdiri dari dua lapis tetrahedral (silikon-oksigen), dan satu lapis oktahedral (aluminium-oksigen-hidroksil). Monmorilonit memiliki kandungan yang paling banyak di dalam bentonit alam. Menurut Knight, 1896 nama lain dari bentonit adalah Soup Clay, Taylorit, Bleaching Clay, Fullers Earth, Konfolensit, Saponit, Smegmantit, (Sukandarrumidi; 2009).

Bentonite mempunyai struktur berlapis dengan mengembang (*swelling*) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan. Meskipun lempung bentonit sangat berguna untuk adsorpsi, namun kemampuan adsorpsinya terbatas . Kelemahan tersebut diatasi melalui proses aktivasi menggunakan asam (HCl , H_2SO_4 dan HNO_3) (Bath.D.S dkk, 2012)

Model persamaan adsorpsi yang umum digunakan adalah model Freundlich, Langmuir dan Brunauer, Emmet & Teller (Sahan et al, 2012).

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida cair atau gas berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (*adsorben*). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap dilepaskan pada adsorpsi kimia yang merupakan ikatan kuat antara penyerap dan zat yang diserap sehingga tidak mungkin terjadi proses yang bolak-balik. Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan

adsorben, dimana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorban adalah merupakan suatu media penyerap (Sahan et al, 2012).

Sorpsi adalah proses penyerapan ion oleh partikel penyerap (sorben). Proses sorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi adalah gejala pengumpulan molekul-molekul suatu zat pada permukaan zat lain sebagai akibat dari ketidak jenuhan gaya-gaya pada permukaan zat tersebut atau ion zat tertahan dipermukaan partikel penyerap (sorben), sedang absorpsi jika proses pengikatan ini berlangsung sampai di dalam partikel penyerap (Handayani.M, 2009),. Proses adsorpsi dalam larutan, jumlah zat teradsorpsi tergantung pada beberapa faktor, seperti, jenis adsorben, jenis adsorbat, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat terlarut, dan temperatur. Bagi suatu sistem adsorpsi tertentu, hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi persatuan luas atau persatuan berat adsorben dengan konsentrasi yang teradsorpsi pada temperatur tertentu disebut dengan isotherm adsorpsi ini dinyatakan sebagai:

$$x/m = k \cdot C^n \quad (1)$$

dalam hal ini:

x = jumlah zat teradsorpsi (gram)

m = jumlah adsorben (gram)

C = konsentrasi zat terlarut dalam larutan, setelah tercapai kesetimbangan adsorpsi

k dan n = tetapan.

Dalam bentuk lain, persamaan (1) menjadi:

$$\log x/m = \log k + n \log c \quad (2)$$

Persamaan ini mengungkapkan bahwa bila suatu proses adsorpsi mengikuti isotherm Freundlich, maka aluran $\log x/m$ terhadap $\log C$ akan merupakan garis lurus. Dari garis dapat dievaluasi tetapan k dan n.

Persamaan Isotherm Freundlich

Untuk rentang konsentrasi yang kecil dan campuran yang cair, isotherm adsorpsi dapat digambarkan dengan persamaan empirik yang dikemukakan oleh Freundlich. Isotherm ini berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda. Persamaan ini merupakan persamaan yang paling banyak digunakan saat ini (Metcalf & Eddy, 1991). Persamaannya adalah :

$$x/m = k C^{1/n} \quad (3)$$

di mana:

x = banyaknya zat terlarut yang teradsorpsi

m = massa adsorben

C = konsentrasi Zat

k, n = konstanta adsorben

Dari persamaan tersebut, jika konsentrasi larutan dalam kesetimbangan diplot sebagai ordinat dan konsentrasi adsorbat dalam adsorben sebagai absis pada koordinat logaritmik, akan diperoleh gradien n dan intersept. Dari isotherm ini, akan diketahui kapasitas dan efisiensi suatu adsorben dalam menyerap fluida.

Persamaan isotherm Langmuir

Pada teori Isotherm Langmuir, diasumsikan bahwa adsorben memiliki permukaan yang homogen dan dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat dan tidak ada interaksi antara molekul molekul yang terjepit, adsorpsinya berbentuk monolayer, persamaan umum *isotherm Langmuir* yaitu:

$$X / m = (a b C_e) / (1 + b C_e) \quad (4)$$

Di mana:

X = banyaknya zat terlarut yang teradsorpsi

m = massa adsorben

C_e = konsentrasi Zat

a, b = konstanta adsorben

2 ALAT DAN BAHAN

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Jar Test, kertas saring, beaker glass, labu ukur, pipet, erlenmeyer, kertas tisu, labeling bulb, spektrofotometer, oven pengering, ayakan, neraca analitis, pH meter dan decicator,

Bahan bahan yang diperlukan yaitu, bentonit alam berasal dari daerah provinsi Jambi, limbah cair berasal dari industri pupuk urea PT Pusri, asam khlorida pekat, Caustic Soda, Ammonium Chlorida dan reagen Nessler.

3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan alat "Jar Test" skala laboratorium. Penelitian ini diawali dengan mengaktifkan bentonit bentonit dilakukan dengan cara, direndam dengan larutan HCl 6% selama 2-4 jam, kemudian bilas dengan air bebas mineral (*demin water*), dikeringkan dalam oven, dihaluskan dengan mortal porselin, diayak dan dipanaskan dalam oven pada suhu 120 °C selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan proses ad-

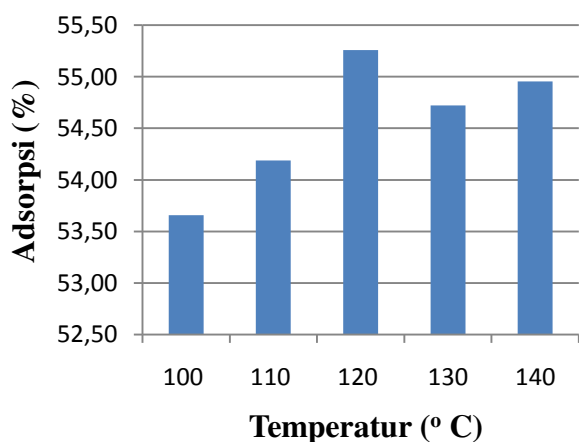
sorpsi antara bentonit dan amonia dengan dengan alat Jar Test, Amonia yang digunakan dari air limbah yang akan dibuang ke perairan Sungai Musi (Outlet Kolam Air Limbah). Variabel proses selain suhu aktivasi divariasikan juga massa bentonit yang digunakan di mulai dari 10 sd 40 gram dengan volume limbah 200 ml setiap sampel. Waktu tinggal proses adsorpsi di variasikan antara 30 sd 120 menit dengan kecepatan pengadukan antara 20 sd 100 rpm. Hasil proses adsorpsi kemudian dianalisa dengan spektrofotometer, panjang gelombang 460 nm, analisis dilakukan dengan sistem triple analisis.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Suhu Aktivasi

Hasil *analysis of varians* (ANOVA) menunjukkan bahwa signifikan level ($\alpha = 0,05$) adalah 0,001 dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh dari masing-masing perlakuan suhu aktivasi terhadap adsorpsi amonia, dimana suhu aktivasi berpengaruh nyata terhadap parameter serapan amonia. (SPSS 16)

Dari penelitian yang dilakukan berdasarkan suhu aktivasi 100; 110; 120; 130 dan 140 °C didapatkan hasil seperti tergambar dalam grafik dibawah ini: aktivasi bentonit yang paling tinggi daya adsorpsinya terhadap amonia yang ada dalam limbah cair adalah bila bentonit di aktivasi dengan suhu 120 °C. Berdasarkan data penelitian dapat ditampilkan bentuk histogramnya seperti yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Suhu aktivasi bentonit terhadap daya serap pada amonia

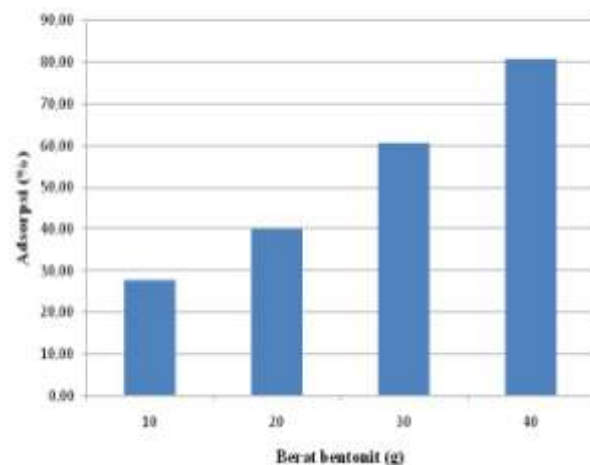
Pada temperatur 100 °C daya adsorpsi sebesar 53,66 % dimana pori-pori dari bentonit mulai membuka, semakin banyak pori-pori membuka semakin besar ruang yang akan ditempati oleh molekul zat yang terserap (adsorbat), dimana pada proses adsorpsi ini terjadi pertukaran ion adsorbat (amonia)

ke dalam pori pori bentonit yang kosong, penelitian ini sejalan dengan penelitian Filayati dan rusmini yang mengatakan untuk meningkatkan daya serap dan daya tukar ion bentonit harus diaktivasi terlebih dahulu dengan pemanasan dan modifikasi dengan asam agar memperbesar porosita dan luas permukaan serta keasamannya meningkat. Pada penelitian ini suhu 120 °C yang tertinggi dengan adsorpsi sebesar 55,26 %. Pada suhu diatas 120 °C sampai 140 °C terjadi penurunan dan kenaikan atau fluktuatif ini dimungkinkan karena adanya pori-pori yang menutup dan belum homogen saat pemanasan.

Pengaruh Massa Bentonit terhadap Daya Serap pada Amonia

Dari penelitian yang dilakukan berdasarkan massa (berat) dilakukan dengan varian 10; 20; 30; 40 gram bentonit aktif terhadap volume limbah cair amonia sejumlah volume 200 ml, kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu kontak 1(satu) jam didapat hasil penyerapan tertinggi pada berat bentonit pada 40 gr/200 ml larutan limbah, hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.

Hasil *analysis of varians* (ANOVA) menunjukkan bahwa signifikan level ($\alpha = 0,05$) adalah 0,000 dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh dari masing-masing perlakuan suhu aktivasi terhadap adsorpsi amonia, dimana berat bentonit berpengaruh nyata terhadap parameter serapan amonia (SPSS 16).

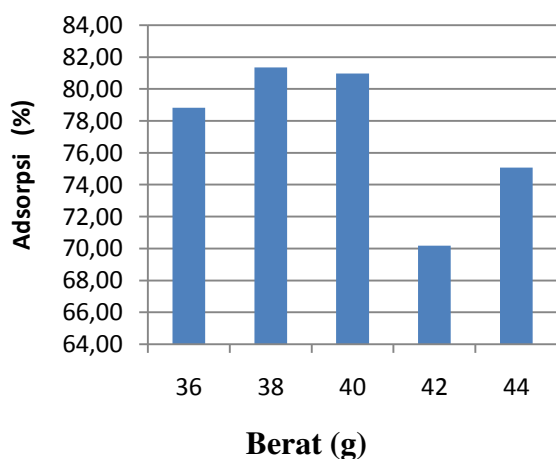


Gambar 2. Adsorpsi amonia pada berbagai berat bentonit

Terlihat dengan jelas dari berat 10 g hingga 40 g semakin besar berat bentonit yang digunakan semakin besar daya serapan amonia, ini menyatakan semakin banyak jumlah berat bentonit berarti kemampuannya untuk menyerap semakin tinggi. Namun penggunaan adsorben berlebihan tidak diinginkan karena akan membuat permasalahan mengelola

lumpur bentonit yang sudah berkurang daya adsorpsinya, oleh karena itu perlu dilakukan optimalisasi berat bentonit yang dibutuhkan untuk mengelola limbah cair amonia, maka dilakukan pendekatan dengan berat 36; 38; 40; 42 dan 44 g bentonit, data histogram adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3

Hasil analisis varian (ANOVA) menunjukkan bahwa signifikan level ($\alpha = 0,05$) adalah 0,000 dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh dari masing-masing berat bentonit terhadap adsorpsi amonia, dimana berat bentonit berpengaruh nyata terhadap parameter serapan amonia (SPSS 16).



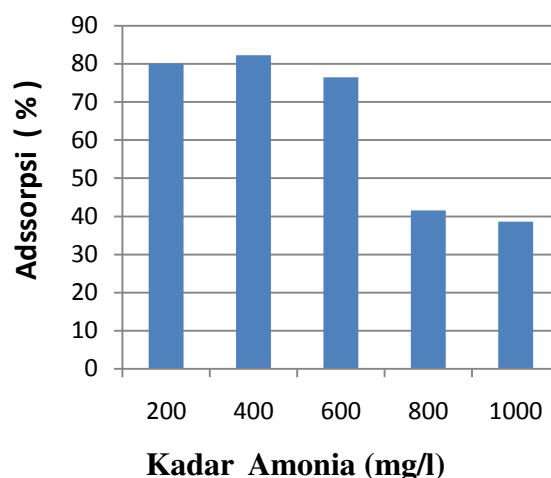
Gambar 3. Adsorpsi amonia pada berat bentonit 36 - 44 g

Dari histogram diatas terbukti rasio berat dan volume terbaik dalam menyerap amonia adalah 38 g/200 ml limbah cair amonia, waktu kontak 1(satu) jam dan kecepatan pengadukan adalah 100 rpm yaitu sebesar 81,35 %.

Pengaruh Kadar Limbah Cair terhadap Penyerapan Amonia

Dari hasil penelitian berdasarkan kadar amonia 200; 400; 600; 800 dan 1000 mg/L, variabel tetap yaitu berat bentonit sebesar 38 gram, waktu kontak 60 menit, pH air limbah 9, kecepatan pengadukan 100 rpm volume air limbah 200 ml didapat data grafik historam pada Gambar 4.

Hasil analysis of varians (ANOVA) menunjukkan bahwa signifikan level ($\alpha = 0,05$) adalah 0,000 dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh dari masing-masing kadar terhadap adsorpsi amonia, dimana kadar berpengaruh nyata terhadap parameter serapan amonia (SPSS 16).



Gambar 4. Pengaruh kadar amonia terhadap adsorpsi bentonit

Dari data dan grafik histogram untuk variabel konsentrasi amonia 200; 400; 600; 800 dan 1000 mg/L, didapatkan adsorpsi tertinggi pada konsentrasi 400 mg/L yaitu sebesar 82,05 %. Dari grafik tersebut bahwa untuk berat 38 g/200 ml daya adsorpsi lebih tinggi untuk kadar amonia 400 mg/L daripada kadar 600, 800 dan 1000 mg/L dikarenakan untuk kadar 400 mg/L kapasitas pori-pori bentonit cukup tersedia untuk menampung pertukaran ion, sedangkan untuk kadar diatas 400 mg/L pori pori bentonit sejumlah massa 38 gram tidak mampu untuk menyerap ion amonium. Ini sesuai dengan penelitian Sahan dkk 2012, daya serap bentonit pada pada menit menit pertama tinggi karena terjadi reaksi pertukaran ion adsorbat dengan bentonit, tetapi akan menurun bila daya tampung pori pori adsorbet sudah terisi semua oleh ion adsorbat.

5 SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengolahan limbah cair urea yang mengandung amonia dapat di turunkan kandungan amonianya sebesar 82,05% bila konsentrasi amonianya berkisar antara 300-400 mg/L dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben bentonit yang harus diaktifasi dengan suhu 120 °C selama 24 jam, dengan berat bentonit 38 gr/200 ml, kecepatan pengadukan 120 rpm, waktu kontak 60 menit dan pH larutan 9.

REFERENSI

- Anonimous, 1975, Manual book Ammonia Plant, MW. Kellogg Overseas Corporation USA
- V. Hacker and K.Kordesch, 2003, Ammonia cracker Handbook of fuel Cells-Fundamental, Technology and Applications vol 3,2, pp 121-127

- Anonimous, 2012, BLH Provinsi Sumatera Selatan, Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No 8 tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batu Bara, Palembang.
- Anonimous, 2012, Sistem Pengelolaan Lingkungan PT Pusri Palembang. Diakses pada tanggal 10 April 2013 dari <http://www.pusri.co.id>.
- Wardhana W.A, 2004, Dampak Pencemaran Lingkungan, Penerbit Andi Yogyakarta.
- Nassef.E & Eltaweel.Y, 2012 Adsorption of Phenol from Aqueous Solution by Local Egyptian Bentonite, *Journal of American Science* 2012: 8(8).
- I.P.Okoye. C.OBI & S.E Otolu, 2012, A study of the adsorption kinetics of Chromium Pillared Bentonite Clay Mineral, *Journal of applied Technology in environmental Sanitation* ,2(3) 145-154.
- Ding,S, Juanjuan Shen, Bohui Xu, Qinfu Liu, Yuzhuang Sun, 2011, The Factor on Removal of Zinc Cation from aqueous Solution by bentonite, *Natural Resources*, 107-113
- Walker.GM, Connor.G, and Allen.S.J, 2004, Copper(II) Removal onto Dolomitic Sorbents, *Chemical Engineering Research and Design* 82(A8): 961-966.
- Fernandez.Y et al, 2011, Use of granular Bentonite in the Removal of Mercury(II), Cadmium (II) and Lead (II) from Aqueous Solutions
- Naswir. M, Susila Aarita, Marsi dan Salni, 2013 characterization of Bentonite by XRD and SEM-EDS and Use to Increase pH and color Removal, Fe and Organic Substances in Peat Water, *Jouornal of Clean Enegy Technologies*, vol1, No 4, October 2013.
- Sukandarrumidi, 2009, Bahan Galian Industri, Gajah Mada Univesity Press, Yogyakarta.
- Bath.D.S, Jenal M. Siregar, M. Turmuzy Lubis, 2012, Penggunaan Tanah Bentonit Sebagai Adsorben Logam Cu, *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol 1. No. 1 (2012)
- Sahan.Y et al 2012, Penentuan daya jerap Bentonit dan Kesetimbangan Adsorpsi bentonit terhadap ion Cu (II).
- Handayani.M, 2009 dan Eko Sulistiyono, Uji Persamaan Langmuir dan Freudlich pada penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolite, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-Batan Bandung*, 3 Juni 2009.
- Metcalf & Eddy, 1991, *Wastewater Engineering, treatment, disposal and Reuse* McGaw-Hill international Editions
- Anonimous, Program statistik SPSS 16
- Filayati.M.R dan Rusmini, 2012, Pengaruh Massa Bentonit Teraktivasi H₂SO₄ terhadap daya Adsorpsi Iodium, *UN-ESA Journal of Chemistry* vol. 1, No. 1, May 2012. _____