

# PENGARUH BERAT DAN UKURAN ADSORBEN TERHADAP PENURUNAN KADAR AMMONIA DAN COD PADA ADSORPSI KONTINYU AIR LIMBAH INDUSTRI AMMONIA

Eka Emiliana Putri<sup>1</sup>, Prayitno<sup>1</sup>, Amran Halim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

<sup>2</sup> PT. Pupuk Kujang, Jalan Jendral Ahmad Yani No.39, Kalihurip, Kec. Cikampek, Karawang 41373, Indonesia

ekaemiliana10@gmail.com; [prayitno@polinema.ac.id]

## ABSTRAK

PT. Pupuk Kujang merupakan pabrik yang memproduksi beberapa jenis pupuk, salah satunya pupuk urea yang dalam pembuatannya menghasilkan air limbah amonia. Air limbah amonia yang dihasilkan masih mengandung amonia dengan kadar tinggi sehingga perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Pada saat ini, air limbah amonia diolah dengan menggunakan stripper amonia, namun hasil pengolahan masih mengandung kadar amonia tinggi sekitar 2500 mg/L, sehingga pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah amonia menggunakan adsorben berupa karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat dan ukuran adsorben (karbon aktif) terhadap penurunan kadar amonia dan COD dengan uji adsorpsi kontinyu. Variabel yang digunakan dalam percobaan adalah berat adsorben sebesar 400 gram, 600 gram dan 800 gram dengan ukuran mesh 8 dan mesh 16. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada berat adsorben 800 gr, dan ukuran adsorben 16 mesh diperoleh penurunan kadar amonia maksimum sebesar 68,95%, dan COD 72,50%.

**Kata kunci:** amonia, air limbah amonia, COD, karbon aktif, proses adsorpsi

## ABSTRACT

PT Pupuk Kujang is a factory that produces several types of fertilizers, one of which is urea fertilizer which in its manufacture produces ammonia wastewater. The ammonia wastewater produced still contains high levels of ammonia so that further treatment is needed. At this time, ammonia wastewater is treated using an ammonia stripper, but the processing results still contain high ammonia levels of around 2500 mg/L, so in this study ammonia waste treatment was carried out using an adsorbent in the form of activated carbon. This study aims to determine the effect of weight and size of adsorbent (activated carbon) on reducing ammonia and COD levels by continuous adsorption test. The variables used in the experiment were adsorbent weight of 400 grams, 600 grams and 800 grams with mesh size 8 and mesh 16. The experimental results showed that at the adsorbent weight of 800 grams, and adsorbent size of 16 mesh obtained a maximum decrease in ammonia levels of 68.95%, and COD 72.50%.

**Keywords:** ammonia, ammonia wastewater, COD, activated carbon, adsorption proces

## 1. PENDAHULUAN

PT. Pupuk Kujang merupakan sebuah perusahaan yang memproduksi pupuk urea dengan produk samping berupa amonia, dimana dalam proses produksinya menghasilkan air limbah. Limbah cair amonia dari pabrik amonia dan urea dikumpulkan bersama air limbah organik lainnya di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Dalam pengolahan air limbah PT.

Pupuk Kujang menggunakan proses evaporasi, dimana air limbah dikontakkan secara tidak langsung dengan steam panas. Namun demikian, hasil pengolahan ini masih mengandung ammonia dengan kadar tinggi. Jika limbah cair dibuang tanpa pengolahan yang benar akan menimbulkan pencemaran pada lingkungan sehingga menyebabkan kematian pada biota dalam air [1].

Pengolahan air limbah memerlukan penerapan metode fisik, biologi, dan kimia secara signifikan. Tingginya kadar amonia dalam air limbah perusahaan mengakibatkan kinerja instalasi pengolahan air limbah tidak optimal, sehingga diperlukan penyempurnaan berkelanjutan. Amonia (NH<sub>3</sub>), senyawa dengan bau tajam dan khas, menjadi kontributor utama dalam permasalahan ini [2].

Jenis limbah dari industri pupuk terdiri dari limbah energi dan limbah zat. Limbah zat sendiri berupa limbah cair dan limbah padat [3]. Hasil limbah ini juga telah ditetapkan pada keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.122 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri yang terdiri dari pH, Kadar Amonia, (*Total Suspended Solid*) TSS, (*Chemical Oxygen Demand*) COD, Kadar Urea, Kadar Amonia dan Minyak dan lemak serta debit aliran. Nilai baku mutu tersebut berdasarkan beban pencemaran sedangkan debit air limbah maksimum 15m<sup>3</sup> perton produk. Untuk mencapai hal tersebut perusahaan menerapkan Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001 dengan melibatkan seluruh pekerja pabrik untuk berperan aktif dalam melakukan penyempurnaan mutu lingkungan [4].

Salah satu teknik umum dan efektif dalam mengoptimalkan kualitas air limbah yaitu dapat dilakukan dengan metode adsorpsi limbah cair, studi literatur lain menyatakan penggunaan metode adsorpsi memiliki beberapa kelebihan diantaranya penggunaan metode ini relatif sederhana, efisiensi relative tinggi, efektif dan tidak memberikan dampak buruk terhadap lingkungan [5]. Metode adsorpsi memerlukan waktu untuk mencapai keseimbangan, yang dipengaruhi oleh pengadukan. Proses ini memberi kesempatan partikel adsorben bersinggungan dengan senyawa serapan. Karbon aktif merupakan contoh material adsorben yang digunakan dalam metode ini [6]. Karbon aktif merupakan senyawa amorf dikarenakan telah melalui proses khusus atau aktivasi terlebih dahulu sehingga mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi [7]. Daya serap karbon aktif sekitar 25-100% terhadap berat karbon aktif, hal ini tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaannya [8]. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm<sup>3</sup>/gram. Sedangkan luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 500 m<sup>2</sup>/gram dan bahkan bisa mencapai diatas 1908 m<sup>2</sup>/gram [9].

Penggunaan metode adsorpsi dalam pengolahan air limbah industri pupuk dapat menurunkan kadar amonia sebesar 82.05% [4]. Penggunaan metode adsorpsi juga dapat menurunkan kadar COD sebesar 96,19% dalam pengolahan limbah cair [10]. Penelitian lain menyatakan karbon aktif dapat menyerap kadar amonia pada air limbah dengan persentase rata-rata penurunan 69,21% hingga 75,46% [11]. Selain itu penggunaan karbon aktif dalam penurunan kadar amonia didapatkan presentase rata-rata penurunan sekitar 43,5% hingga 78,6% [12]. Penggunaan adsorben berbahan karbon aktif melibatkan proses karbonisasi yang diikuti oleh aktivasi. Proses aktivasi merupakan tindakan untuk membuka pori-pori karbon dan dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisik atau kimia. Salah satu metode aktivasi yang umum digunakan adalah melalui proses aktivasi dengan Asam Klorida (HCl). Hal ini telah dinyatakan penggunaan HCl dalam aktivasi karbon aktif guna menurunkan kadar amonia air limbah di dapatkan hasil sebesar 83.2% [13].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode adsorpsi menggunakan karbon aktif sebagai alternatif pengolahan limbah amonia dari PT. Pupuk Kujang. Studi ini akan mengevaluasi kemampuan karbon aktif dalam mengurangi kadar amonia pada air limbah. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efektif untuk menurunkan kadar amonia dan parameter COD dalam air limbah.

## **2. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh metode adsorpsi menggunakan karbon aktif terhadap kualitas air limbah industri pupuk, dengan fokus utama pada penurunan kadar amonia. Sampel air limbah diambil dari tempat penampungan gabungan plant urea dan amonia. Variabel yang diteliti meliputi berat adsorben karbon aktif (400, 600, dan 800 gram) serta ukuran partikelnya (8 dan 16 mesh). Metode adsorpsi aliran kontinyu skala laboratorium diterapkan untuk mensimulasikan proses pengolahan yang berkelanjutan. Pengambilan sampel dilakukan setiap interval 6 menit untuk memantau progres adsorpsi secara detail. Efektivitas proses adsorpsi diukur melalui perbandingan konsentrasi pencemar, terutama amonia, sebelum dan sesudah perlakuan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang optimasi penggunaan karbon aktif dalam pengolahan limbah

### **2.1. Alat dan Bahan**

Pada penelitian ini menggunakan bahan berupa karbon aktif, HCl 15%, Aquades, air limbah amonia, reagen Nessler, larutan FAS, indikator ferroin, Larutan  $K_2Cr_2O_7$ , larutan  $H_2SO_4$  pekat, batu didih. Sedangkan peralatan yang digunakan berupa gelas piala, saringan atau ayakan, gelas ukur, spatula, loyang, oven, seperangkat alat kolom adsorpsi, kertas saring, vakum dan pompa, pH meter, labu ukur, kaca arloji, alumunium foil, erlenmeyer, seperangkat alat spektrofotometri, biuret, erlenmeyer.

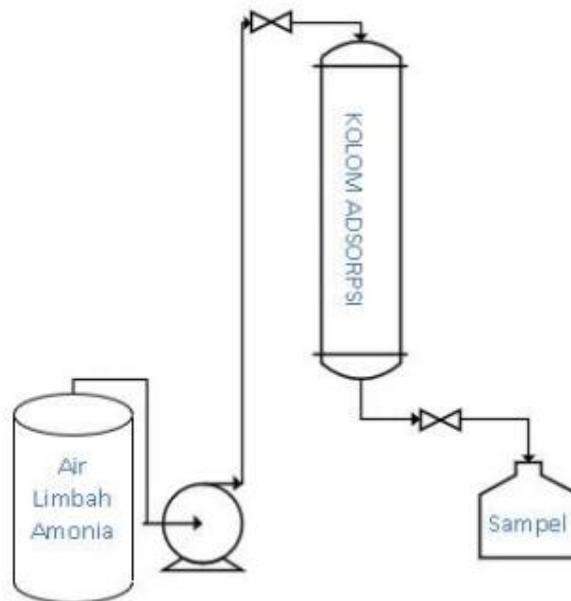
### **2.2. Aktivasi Karbon Aktif**

Karbon aktif dengan variasi berat 400 gram, 600 gram dan 800 gram disiapkan secara terpisah dalam gelas piala. Pemilihan variasi berat ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat karbon aktif terhadap efisiensi proses adsorpsi yang akan dilakukan. Masing-masing gelas piala yang berisi karbon aktif dilarutkan pada arutan HCl 15% dengan perbandingan HCl dan karbon aktif 2:1. Perendaman dengan larutan asam ini selama 24 jam disimpan diruangan asam. Pisahkan HCl dengan karbon aktif, lalu cuci dengan air aquadest selama +3 kali atau sampai pH netral. Jika sudah pH netral masukkan ke dalam oven untuk dilakukan pemanasan selama 2,5 jam dengan suhu  $110^{\circ}C$ . Setelah itu karbon aktif dikeluarkan dari oven lalu siap digunakan untuk proses adsorpsi [14].

### **2.3. Metode Adsorpsi Air Limbah**

Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan sampel air limbah amonia dan perangkat adsorpsi, termasuk adsorben karbon aktif. Sampel awal diambil dari bak penampung untuk analisis parameter kualitas air limbah. Pompa dioperasikan pada flowrate tertentu dengan mengatur bukaan valve setengah terbuka, kemudian dimatikan sementara. Karbon aktif dengan berat dan ukuran sesuai variabel penelitian dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi. Selanjutnya, pompa dihidupkan kembali untuk mengalirkan air limbah ke kolom adsorpsi. Pengambilan sampel dilakukan pada output kolom setiap 6 menit sebanyak 5 kali sebelum pompa dimatikan, mengakhiri satu siklus percobaan. Prosedur ini diulang dengan variasi berat dan ukuran karbon aktif untuk menguji efektivitas adsorpsi dalam berbagai kondisi. Tahap akhir meliputi analisis parameter COD dan kadar

amonia pada semua sampel yang diperoleh, memberikan data menyeluruh tentang kinerja metode adsorpsi dalam pengolahan limbah amonia.



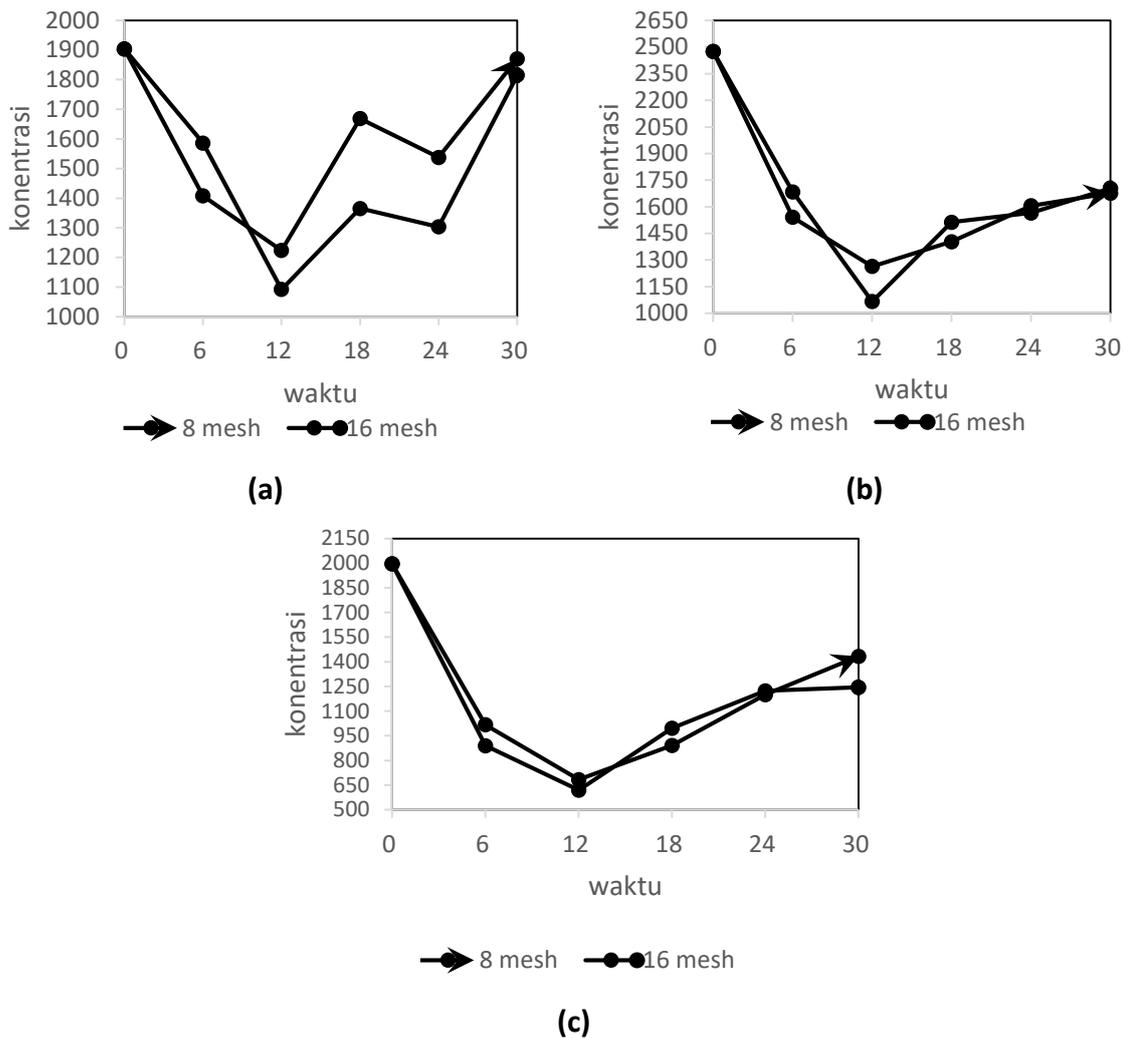
**Gambar 1.** Skematis peralatan percobaan kolom adsorpsi kontinyu

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan utama dalam penelitian ini adalah effluent dari plant utility PT. Pupuk Kujang dengan adsorben yang digunakan berupa karbon aktif yang telah diaktivasi dengan larutan HCL 15%. Air limbah yang dikeluarkan akan diolah kembali dengan penambahan metode adsorpsi dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan ukuran dan berat adsorben dalam meningkatkan kualitas air limbah amonia. Standar baku mutu industry PT. Pupuk Kujang ini telah ditetapkan pada keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.122 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi aliran kontinyu, di mana air limbah dialirkan melalui sebuah kolom adsorpsi. Kolom tersebut diisi dengan karbon aktif sebagai media adsorben. Variabel yang diteliti meliputi berat karbon aktif (400 gram, 600 gram, dan 800 gram) dan ukuran partikelnya (8 mesh dan 16 mesh). Kombinasi variabel ini digunakan untuk menguji efektivitas adsorpsi dalam berbagai kondisi.

#### 3.1. Pengaruh Perbedaan Berat Adsorben

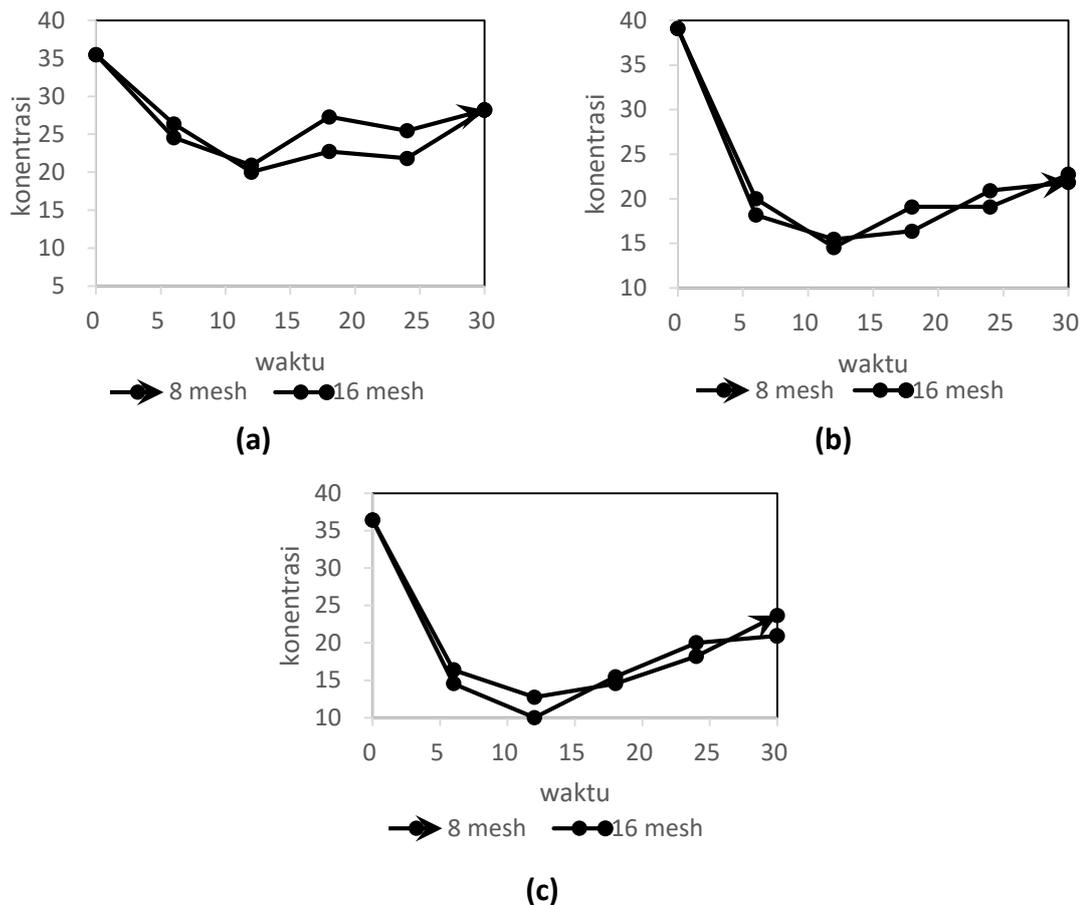
Mengevaluasi pengaruh berat adsorben terhadap efisiensi proses adsorpsi, penelitian ini menggunakan tiga variasi berat karbon aktif yang berbeda. Perbedaan berat adsorben ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang hubungan antara berat adsorben yang digunakan dengan tingkat penyerapan kontaminan dalam air limbah. Sebelum dilakukan proses adsorpsi, konsentrasi awal amonia dan nilai COD dalam air limbah diuji terlebih dahulu. Setelah diuji konsentrasinya, effluent stripper amonia dialirkan menuju kolom adsorpsi. Kolom adsorpsi ini didesain khusus untuk memfasilitasi proses adsorpsi dengan mengalirkan air limbah melalui lapisan adsorben secara kontinyu. Dalam penelitian ini, kolom adsorpsi dioperasikan dengan variasi berat adsorben secara bergantian, yaitu 400 gram, 600 gram, dan 800 gram. Dari perlakuan ini hasil yang didapatkan dijelaskan pada grafik Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengaruh berat adsorben terhadap kadar amonia (a) berat 400 gram (b) berat 600 gram (c) berat 800 gram

Gambar 2 dan 3 mengilustrasikan pengaruh adsorben terhadap penurunan kadar amonia dan parameter COD secara berurutan. Untuk parameter amonia, terjadi penurunan signifikan dari nilai awal 1995,214 mg/L menjadi 619,425 mg/L, menunjukkan persentase penurunan sebesar 68,95%. Demikian pula, parameter COD mengalami penurunan substansial dari 36 mg/L menjadi 10 mg/L, dengan persentase penurunan mencapai 72,52%. Kedua parameter ini masing-masing paling berpengaruh di adsorben karbon aktif berat 800 gram pada menit ke 12. Meskipun kedua parameter menunjukkan tren penurunan yang besar, grafik memperlihatkan fluktuasi nilai yang dapat dikaitkan dengan berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja adsorpsi.

Salah satu faktor kunci yang mempengaruhi peningkatan kualitas air limbah adalah berat adsorben yang digunakan. Berat adsorben memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi proses penyerapan. Hasil penelitian menunjukkan korelasi positif antara berat adsorben dan kapasitas penyerapan, semakin besar berat adsorben yang digunakan, semakin tinggi pula kapasitas penyerapannya. Dalam studi ini, penurunan kadar amonia dan COD terbesar teramati pada penggunaan adsorben dengan berat 800 gram.



**Gambar 3.** Pengaruh berat adsorben terhadap uji COD (a) berat 400 gram (b) berat 600 gram (c) berat 800 gram

Kinerja adsorpsi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah waktu kontak antara efluen dan adsorben. Durasi kontak yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi molekul-molekul polutan untuk berdifusi ke dalam pori-pori adsorben dan terserap pada permukaannya. Dalam penelitian ini, penurunan kadar amonia dan COD terbesar teramati pada waktu sampling 12 menit dengan berat adsorben 800 gram. Temuan ini mengindikasikan bahwa waktu kontak yang memadai diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi dan mengoptimalkan penyerapan polutan. Namun, setelah mencapai titik kesetimbangan, perpanjangan waktu kontak mungkin tidak menghasilkan peningkatan efisiensi penyerapan yang signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat adsorben (karbon aktif) terhadap penurunan kadar amonia dan COD dalam limbah PT Pupuk Kujang melalui uji adsorpsi kontinyu. Dalam penelitian ini, karbon aktif diaktivasi menggunakan metode perendaman dalam larutan HCl 15% selama 2,5 jam. Proses aktivasi ini bertujuan untuk meningkatkan karakteristik permukaan adsorben dengan memperbesar ukuran pori dan meningkatkan jumlah gugus fungsi aktif. Dengan cara ini, kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap polutan, khususnya amonia, dapat meningkat secara signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat adsorben berpengaruh besar terhadap efektivitas penurunan kadar amonia dan COD. Penurunan kadar amonia yang paling optimal teramati pada penggunaan berat adsorben 800 gram. Selain itu, pH larutan juga memainkan peran penting dalam proses adsorpsi. pH yang sesuai dapat mempengaruhi muatan permukaan

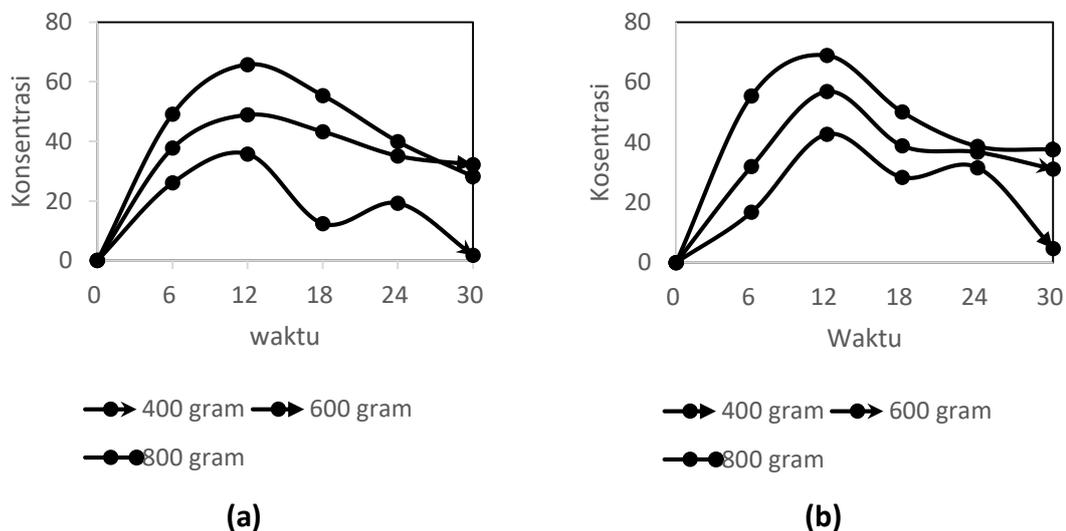
adsorben dan spesiasi kimia polutan, yang pada gilirannya memengaruhi interaksi antara adsorben dan amonia.

Dengan demikian, penelitian ini menggarisbawahi pentingnya metode preparasi yang tepat, pengaruh berat adsorben, dan pengaturan pH larutan. Semua faktor ini saling berkontribusi dalam meningkatkan kinerja karbon aktif dalam menurunkan kadar amonia dan COD, sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Karakteristik intrinsik air limbah, seperti keberadaan zat pengganggu atau kompetisi adsorpsi antara berbagai jenis polutan, juga dapat mempengaruhi efisiensi adsorpsi secara keseluruhan. Adsorben yang menunjukkan afinitas tinggi terhadap polutan tertentu mungkin kurang efektif dalam mengadsorpsi polutan lain yang hadir dalam sampel air limbah yang sama. Oleh karena itu, pemahaman komprehensif tentang komposisi air limbah dan interaksi antara berbagai komponennya sangat penting dalam merancang sistem adsorpsi yang efektif dan efisien.

### 3.2 Pengaruh Perbedaan Ukuran Adsorben

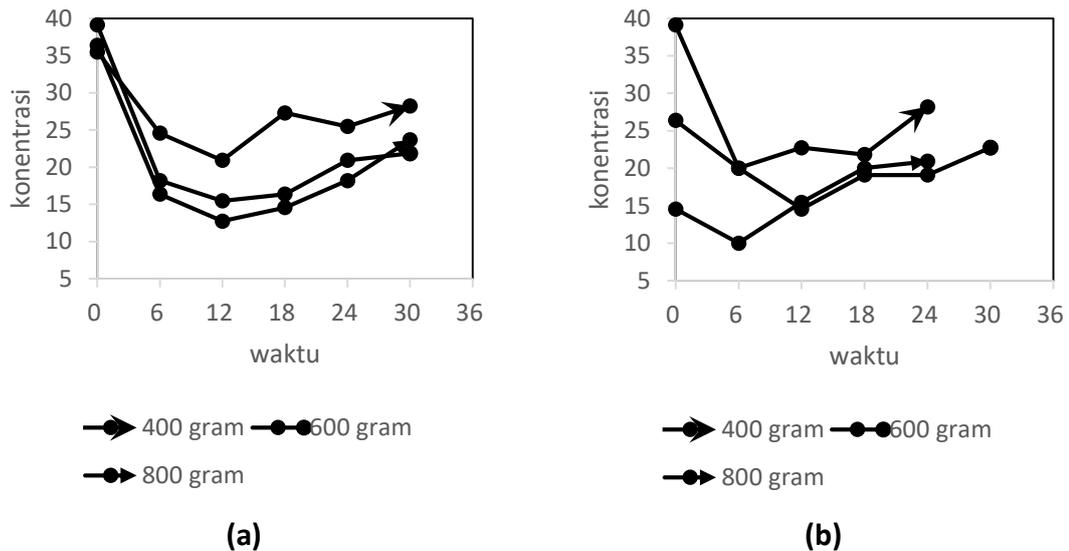
Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi berat adsorben dan ukuran partikel karbon aktif terhadap efisiensi penyerapan kontaminan dalam air limbah. Dua ukuran mesh karbon aktif digunakan dalam studi ini: 8 mesh dan 16 mesh. Karbon aktif berukuran 8 mesh memiliki partikel yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran 16 mesh. Perbedaan ukuran partikel ini diharapkan menghasilkan variasi dalam efisiensi penyerapan amonia dan penurunan nilai COD pada air limbah. Penggunaan dua ukuran mesh yang berbeda memungkinkan analisis tentang pengaruh karakteristik fisik adsorben terhadap kinerja adsorpsinya. Dengan membandingkan hasil dari kedua ukuran mesh, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses adsorpsi dan memberikan wawasan untuk pengembangan metode pengolahan air limbah yang lebih efektif.



**Gambar 4.** Pengaruh ukuran adsorben terhadap kadar amonia (a) mesh 8 dan (b) mesh 16

Pengaruh parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan kadar amonia terhadap adsorben berupa ukuran mesh karbon aktif yang digunakan terlihat dari nilai akhir setelah dilakukan metode adsorpsi. Penggunaan ukuran mesh yang berbeda, yaitu 8 mesh dan 16 mesh, menunjukkan perbedaan dalam persentase penurunan kadar amonia dan COD. Penggunaan ukuran 8 mesh memiliki persentase penurunan kadar amonia sebesar 65,75%

dan persentase penurunan kadar COD sebesar 65% pada menit ke-12 (dari total waktu 30 menit dengan pengambilan sampel dilakukan sebanyak 5 kali). Sementara itu, penggunaan ukuran 16 mesh memiliki persentase penurunan kadar amonia yang lebih tinggi, yaitu 72,50%, dan persentase penurunan kadar COD yang lebih tinggi pula, yaitu 68,95%, pada menit ke-12 (dari total waktu 30 menit dengan pengambilan sampel dilakukan sebanyak 5 kali). Perbedaan nilai penurunan kadar ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah perbedaan ukuran mesh adsorben karbon aktif yang berkaitan dengan luas permukaan spesifiknya.



**Gambar 5.** Pengaruh ukuran adsorben terhadap COD (a) mesh 8 dan (b) mesh 16

Luas permukaan spesifik (specific surface area) merupakan parameter kunci dalam menentukan efektivitas karbon aktif sebagai adsorben. Parameter ini menggambarkan area permukaan total yang tersedia untuk proses adsorpsi per satuan massa adsorben dan berkorelasi positif dengan jumlah situs aktif untuk mengadsorpsi adsorbat [15]. Ukuran mesh karbon aktif, yang mengacu pada ukuran lubang ayakan untuk klasifikasi partikel, berbanding terbalik dengan luas permukaan spesifik. Semakin kecil ukuran mesh, semakin kecil pula ukuran partikel karbon aktif, menghasilkan luas permukaan spesifik yang lebih besar [16]. Sebagai contoh, karbon aktif dengan ukuran mesh 16 memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran mesh 8, karena ukuran partikelnya yang lebih kecil. Luas permukaan spesifik yang lebih besar ini menyediakan lebih banyak situs untuk proses adsorpsi, sehingga meningkatkan efisiensi penurunan kadar amonia dan COD dalam air limbah.

Selain ukuran partikel, luas permukaan spesifik karbon aktif juga dipengaruhi oleh struktur pori dan distribusi ukuran pori. Karbon aktif memiliki struktur pori yang kompleks, terdiri dari pori-pori dengan ukuran yang bervariasi, mulai dari makropori (pori dengan diameter >50 nm), mesopori (pori dengan diameter 2-50 nm), hingga mikropori (pori dengan diameter <2 nm). Pori-pori ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap luas permukaan spesifik karbon aktif. Semakin banyak pori-pori yang terbentuk, terutama pori-pori dengan ukuran mikro dan meso, semakin besar luas permukaan spesifik yang dimiliki karbon aktif tersebut. Distribusi ukuran pori yang sesuai dengan ukuran molekul adsorbat juga penting untuk memaksimalkan proses adsorpsi [17].

Dengan luas permukaan spesifik yang lebih besar dan distribusi ukuran pori yang lebih sesuai, karbon aktif 16 mesh mampu mengadsorpsi senyawa organik dengan lebih efisien, sehingga penurunan nilai COD menjadi lebih signifikan dibandingkan dengan karbon aktif 8 mesh. Meskipun berat karbon aktif yang digunakan sama, yaitu 800 gram, namun perbedaan ukuran mesh memberikan pengaruh yang nyata terhadap efisiensi penurunan nilai COD dalam proses adsorpsi ini.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode adsorpsi menggunakan karbon aktif sebagai adsorben efektif meningkatkan kualitas air limbah. Penggunaan 800 gram karbon aktif berukuran 16 mesh menghasilkan efisiensi penurunan kadar amonia sebesar 68,95% dan kadar COD sebesar 72,50%.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, penulis menyarankan dua modifikasi utama. Pertama, penambahan jumlah karbon aktif yang digunakan dalam proses adsorpsi. Kedua, perluasan rentang ukuran partikel karbon aktif, dengan fokus pada penggunaan partikel yang lebih kecil. Hal ini diharapkan dapat mengoptimalkan penyerapan parameter-parameter pencemar dalam air limbah, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas air limbah secara signifikan.

#### REFERENSI

- [1] R. N. Amalia, S. D. Devy, A. S. Kurniawan, N. Hasanah, E. D. Salsabila, D. A. A. Ratnawati, dan G. A. Aturdin, "Potensi Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Organik Cair di RT. 31 Kelurahan Lempake Kota Samarinda," *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, vol. 1, no. 1, hal. 36–41, 2022.
- [2] M. I. Nurdin, J. D. Damayanti, dan A. Sukasri, "Efisiensi Bioball Pada Teknologi Fitobiofilm Untuk Penurunan Kadar Amonia Dalam Air Limbah Domestik," *SPIN Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia*, vol. 5, no. 1, hal 166–167, 2023.
- [3] M. W. Kellogg, *Operating Instructions Manual Ammonia Plant*. The M. W. Kellogg Company (A Division of Pullman, Incorporated), hal. 30, 1973.
- [4] H. Kosim, S. Arita, dan H. Hermansyah, "Pengurangan Kadar Amonia dari Limbah Cair Pupuk Urea dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben Bentonit," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 17, no. 2, hal. 66–71, 2015.
- [5] L. Botahala, "Perbandingan Efektivitas Daya Adsorpsi Sekam Padi Dan Cangkang Kemiri Terhadap Logam Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali". *Deepublish*, hal. 1–5, 2019.
- [6] H. Ilham dan M. Z. Zaki, "Recovery Ion  $\text{Cu}^{2+}$  dari Sisa Proses Detoksifikasi  $\text{SO}_2$  atau Udara dengan Metode CIP di PT. Antam Tbk. UBPE Pongkor," *Thesis*, vol. 1, no. 69, hal. 5–24, 2019.
- [7] F. A. Fadila, "Degradasi Methylene Blue dengan Karbon Aktif dari Kulit Pisang Kepok Teraktivasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ", Disertasi Doktoral, Institut Teknologi Kalimantan, 2021.
- [8] T. S. S. Naga dan M. T. Sembiring, "Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)," *Jurnal Ilmu Pengetahuan Umum*, vol. 1, no. 10, hal. 1–29, Jul. 2015.
- [9] K. I. Damayanti dan R. Hermawan, "Sintesis Arang Aktif dari Kulit Singkong sebagai Adsorben Ion Fe," *Jurnal Chemtech*, vol. 7, no. 1, hal. 13–16, 2021.
- [10] H. Setyawati, N. A. Rakhman, dan D. A. Anggorowati, "Penerapan Penggunaan Arang Aktif Sebagai Adsorben Untuk Proses Adsorpsi Limbah Cair Di Sentra Industri Tahu Kota Malang," *Spectra*, vol. 13, no. 26, hal. 67–78, 2015.

- [11] A. A. Pradana, P. Pujiono, B. Yulianto, dan T. Ruhmawati, "Perbedaan Waktu Kontak Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Amonia pada Limbah Cair Domestik," *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, vol. 11, no. 1, hal. 215–220, 2019.
- [12] N. Nurhidayanti, D. Ardiatma, A. Wahyuningtyas, dan Y. Hertati, "Penurunan Kadar Amonia Menggunakan Karbon Aktif dalam Air Limbah di PT Puradelta Lestari," *Pelita Teknologi*, vol. 14, no. 1, hal. 67–73, 2019.
- [13] N. Nurhidayanti, "Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Pada Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Untuk Menurunkan Kadar Amonia Total Dalam Air Limbah," *Jurnal Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, hal. 40–49, 2018.
- [14] P. Susmanto, Y. Yandriani, A. P. Dila, dan D. R. Pratiwi, "Pengolahan Zat Warna Direk Limbah Cair Industri Jumptan Menggunakan Karbon Aktif Limbah Tempurung Kelapa pada Kolom Adsorpsi," *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, vol. 4, no. 2, hal. 77–87, 2020.
- [15] M. Rafdi, "Potensi Limbah Kulit Pinang (*Arecha catechu* L.) Sebagai Karbon Aktif Untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil", Disertasi Doktorat, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh, 2023.
- [16] D. Imelda, A. Khanza, dan D. Wulandari, "Pengaruh Ukuran Partikel dan Suhu Terhadap Penyerapan Logam Tembaga (Cu) dengan Arang Aktif dari Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca formatypica*)," *Jurnal Teknologi*, vol. 6, no. 2, hal. 107–118, 2019.
- [17] D. P. N. Dewa, I. M. W. Made, T. G. T. N. Tjokorda, dan A. S. F. Ferdinand, "Efek Holding Time Proses Aktivasi Terhadap Struktur Pori Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Seduh," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, hal. 599–607, 2022.