

Proses Adsorpsi Amonia dengan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Shell*) Teraktivasi H₂SO₄

Afit Sri Wahyudi WR, Erika Dwi Oktaviani*, Linda Ekawati

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

*Koresponden email: erika.dwi@polsri.ac.id

Diterima: 8 September 2025

Disetujui: 17 September 2025

Abstract

Activated carbon is a porous material that has a high surface area capable of adsorbing various substances. The process of making activated carbon uses palm oil shell biomass waste with a carbonization method and is activated using H₂SO₄. Activated carbon is used as an adsorbent in the Ammonia (NH₃) adsorption process. Variations in the adsorption process were used, namely, H₂SO₄ activation concentration (5, 10, 15 and 20%) and adsorption contact time for (15, 30, 45, and 60 minutes). The optimum adsorption capacity of 12.97% was shown in the activated carbon adsorbent activated by 20% H₂SO₄ with a contact time of 30 minutes. The optimum result of reducing the NH₃ concentration from 100 ppm to 50 ppm occurred at 15 and 20% activation with a contact time of 60 minutes. Variations in activation concentration and contact time affect the adsorption capacity so that NH₃ can be absorbed by activated carbon.

Keywords: active carbon, palm kernel shells, adsorption, ammonia, sulfuric acid

Abstrak

Karbon aktif merupakan material berpori yang memiliki luas permukaan tinggi yang mampu mengadsorpsi berbagai zat. Proses pembuatan karbon aktif menggunakan limbah biomassa cangkang kelapa sawit dengan metode karbonisasi dan diaktivasi menggunakan H₂SO₄. Karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi Amonia (NH₃). Digunakan variasi proses adsorpsi yaitu, konsentrasi aktivasi H₂SO₄ (5, 10, 15 dan 20%) dan waktu kontak adsorpsi selama (15, 30, 45, dan 60 menit). Hasil optimum kapasitas adsorpsi sebesar 12,97% ditunjukkan pada adsorben karbon aktif teraktivasi H₂SO₄ 20% dengan waktu kontak 30 menit. Hasil optimum penurunan konsentrasi NH₃ dari 100 ppm menjadi 50 ppm terjadi pada aktivasi 15 dan 20% dengan waktu kontak 60 menit. Variasi konsentrasi aktivasi dan waktu kontak berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi sehingga NH₃ mampu diserap oleh karbon aktif.

Kata Kunci: karbon aktif, cangkang kelapa sawit, adsorpsi, amonia, asam sulfat

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan akibat senyawa amonia (NH₃) menjadi perhatian yang serius dalam berbagai sektor industri, seperti peternakan, pertanian, dan manufaktur. Amonia merupakan senyawa yang bersifat alkali atau basa, memiliki bau yang menyengat, bersifat volatil (mudah menguap), dan korosif. Amonia bebas merupakan molekul amonia yang tidak terikat dalam struktur kristal urea dan masih memiliki kandungan sifat-sifat kimia amonia yang khas [1]. Paparan amonia dalam konsentrasi tinggi berbahaya bagi lingkungan dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia seperti, iritasi pada mata, hidung, tenggorokan, sistem pernapasan, dan masalah jaringan tubuh lainnya. Karbon aktif atau biasa dikenal dengan arang aktif merupakan bahan padat yang memiliki pori-pori dan luas permukaan yang besar karena mengandung karbon sebesar 85-95% dan deposit 5-15% [2].

Hal ini menjadikan karbon aktif sebagai agen penyerap, kemampuan penyerap yang tinggi membuat karbon digunakan dalam berbagai penerapan seperti penghilang rasa, bau, agen pemurni dalam industri makanan, dan berbagai industri lainnya. Produksi karbon aktif di Indonesia berdasarkan penelitian terakhir pada tahun 2021 kebutuhan penggunaan mencapai 30.051 ton/tahun dan jumlah ekspor karbon aktif sebanyak 11.834 ton/tahun [3]. Produksi karbon aktif dengan menggunakan cangkang kelapa sawit hampir 87-97% karena bahan tersebut merupakan limbah padat organik yang pengolahannya belum efektif dan jumlah yang dihasilkan dari pabrik pengolahan minyak sawit melimpah. Luas perkebunan kelapa sawit mencapai 16,8 juta ha ton/tahun. Cangkang kelapa sawit adalah salah satu limbah biomassa yang berpotensi besar untuk dijadikan karbon aktif karena memiliki struktur pori-pori hararkis (struktur pori-pori yang memiliki lebih dari satu skala ukuran) yang memungkinkan untuk adsorpsi partikel kecil seperti NH₃.

Proses pembentukan karbon aktif melalui proses karbonisasi yang bertujuan untuk menguraikan selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon [4]. Proses

karbonisasi memiliki tujuan untuk memperbesar pori dengan cara pemecahan ikatan hidrokarbon atau dengan mengoksidisasikan molekul di daerah permukaan. Karbonisasi dapat dikatakan secara sempurna apabila pemanasan tersebut tanpa adanya udara hingga mencapai suhu yang cukup tinggi untuk menguapkan dan mengeringkan senyawa. Temperatur yang digunakan dalam karbonisasi pada akhir proses mempunyai pengaruh yang besar terhadap struktur butiran. Kondisi pada saat temperatur tinggi akan mengalami berbagai macam reaksi berdasarkan dengan sifat dari struktur kimianya.

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume pori, memperbesar diameter pori-pori dan meningkatkan porositas karbon aktif [5]. Aktivasi adsorben dapat menggunakan beberapa aktivator diantaranya H_3PO_4 , HCl , $NaOH$, NH_4Cl , H_2SO_4 , $ZnCl_2$, dan lain sebagainya. Pada penelitian sebelumnya penggunaan H_2SO_4 sebagai zat aktivasi lebih optimal dari pada $ZnCl_2$, karena dapat memberikan pengaruh kontaminasi lingkungan dengan senyawa seng (Zn) [6]. Jenis aktivator kimia yang digunakan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap sifat fisik dan kimia pada karbon aktif karena cenderung menghasilkan struktur mikropori dan gugus fungsional asam di permukaan yang cocok untuk penyerapan senyawa polar seperti amonia. Aktivator memiliki peran dalam membuka pori pada permukaan karbon dengan cara mengoksidasi karbon yang dapat membantu meningkatkan daya serap yang lebih tinggi. Daya serap juga ditentukan oleh luas permukaan partikel dan dapat menjadi lebih tinggi jika karbon tersebut dilakukan aktivasi.

Sifat adsorpsi pada amonia bergantung pada sifat pori dan karakteristik kimia dari permukaan serta penyerapan yang optimal dapat diperoleh dengan menentukan waktu kontak, karbon aktif dan konsentrasi yang digunakan untuk dapat menyerap NH_3 . Ikatan yang terbentuk dalam proses adsorpsi fisik dapat diputuskan dengan mudah dengan pemanasan pada temperatur 150-200 selama 2-3 jam [7].

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit (*Palm Kernel Shells*), Asam Sulfat (H_2SO_4), dan Amonia (NH_3). Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, seperangkat alat adsorpsi skala lab.

Prosedur Penelitian

1. Preparasi Bahan Baku

Pembersihan dan pengeringan cangkang kelapa sawit dicuci untuk menghilangkan kotoran dan partikel asing, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk mengurangi kadar airnya.

2. Penghancuran Bahan Baku

Cangkang kelapa sawit dihancurkan untuk membentuk ukuran yang lebih kecil dan memudahkan proses karbonisasi agar lebih rata.

3. Karbonisasi

Cangkang kelapa sawit dimasukkan ke dalam cawan porselen dan dilanjutkan ke proses pemanasan dalam *furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam dalam kondisi minim oksigen untuk menghasilkan karbon aktif.

4. Penghalusan dan Penyaringan

Setelah proses karbonisasi selesai, karbon cangkang kelapa sawit dihancurkan menggunakan grinder lalu disaring dengan ayakan 20 mesh agar ukuran partikel seragam ketika di aktivasi.

5. Proses Aktivasi

Cangkang kelapa sawit direndam dalam larutan asam sulfat pada konsentrasi 5, 10, 15, 20% dengan rasio 1:20 w/v (gr/ml) dan didiamkan selama 24 jam agar struktur pori karbon terbuka.

6. Pencucian dan Pengeringan

Karbon aktif dicuci menggunakan air aquadest hingga mencapai pH netral (6–7), lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam.

7. Proses Adsorpsi Amonia (NH_3)

Karbon aktif yang telah selesai dibuat, kemudian dikontakkan dengan uap larutan amonia konsentrasi sebesar 0,1% dan dibantu dengan proses pemanasan. Waktu pengontakkan karbon aktif dengan uap amonia dilakukan berdasarkan variabel bebas selama 15, 30, 45, dan 60 menit.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan Adsorben dari Karbon Aktif Berbasis Cangkang Kelapa Sawit

Adsorben merupakan material yang memiliki fungsi sebagai agen penyerap. Jenis penyerap digunakan dapat disesuaikan berdasarkan kondisi dan sifat pada zat yang akan dilakukan proses adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses fisiokimia yang terjadi antara molekul, ion, atau, partikel suatu zat (adsorbat) menempel di permukaan zat lain (adsorben) dengan konsep gaya tarik menarik. Adsorpsi merupakan fenomena kontak antara permukaan padatan dengan molekul gas, ion, dan lainnya [8]. Karbon aktif sebagai agen penyerap melalui proses karbonisasi dan aktivasi zat kimia untuk membantu membuka pori. Proses tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air, gas, dan hidrogen yang terdapat didalam bahan baku. Cangkang kelapa sawit dipilih sebagai bahan baku karbon aktif dalam pembuatan adsorben memiliki tingkat efektif yang tinggi karena cangkang memiliki struktur yang keras, padat, dan kaya karbon. Sehingga hal ini memungkinkan pembentukan matriks berpori setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Karakteristik yang dimiliki oleh cangkang kelapa sawit yaitu terdapat komposisi kimia diantaranya adalah selulosa 29,7%, lignin 53,4%, dan hemiselulosa 47,7% [9]. Kandungan lignin yang terkandung dalam cangkang kelapa sawit yang diubah menjadi karbon aktif akan memiliki tingkat kemampuan adsorpsi yang tinggi.

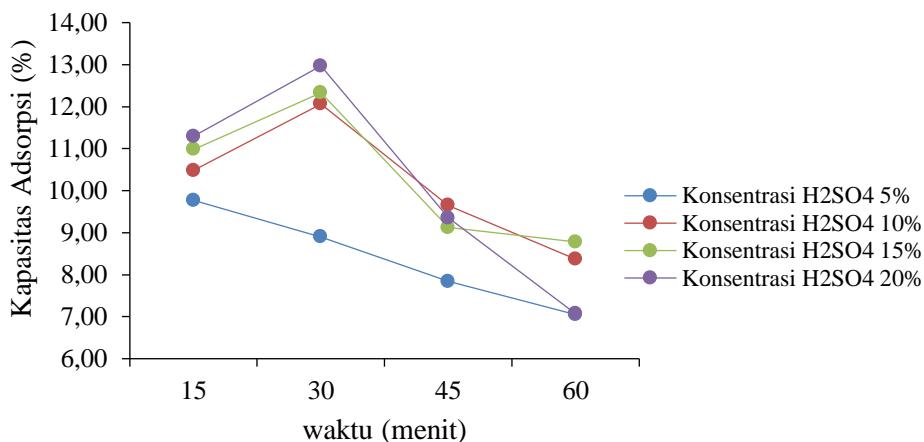
Dalam penelitian ini adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan melalui proses karbonisasi. Proses karbonisasi berlangsung pada suhu 500 C dalam kondisi terbatas oksigen. Karakteristik yang dihasilkan ketika proses karbonisasi yaitu devolatilitas atau senyawa volatil (uap air, gas organik) hilang pada saat proses pembakaran dibuktikan dari massa karbon aktif setelah proses karbonisasi yang berkurang, sehingga kondisi ini dapat meningkatkan fraksi karbon aktif. Penguraian komponen yang terkandung dalam karbon aktif ditandai dengan keluarnya asap tipis berwarna putih melalui celah cerobong *furnace*. Karbon aktif diaktivasi menggunakan asam sulfat, dari proses aktivasi ini menghasilkan uap air yang terbentuk dari proses dehidrasi H₂SO₄ yang membakar kandungan karbon prekursor (bahan baku pembentukan serat karbon) melalui proses gasifikasi untuk menciptakan volume pori-pori yang substansial. Karbon aktif yang telah diaktivasi menggunakan H₂SO₄ digunakan sebagai adsorben gas amonia.

Pengaruh Konsentrasi Aktivator dan Waktu Kontak

Aktivasi yang dilakukan dengan cara merendam material karbon dengan zat kimia asam sulfat selama 24 jam. Pada penelitian ini konsentrasi aktivator yang digunakan bervariasi yaitu 5, 10, 15, dan 20%. Hal ini untuk melihat pengaruh konsentrasi aktivator pada karbon aktif terhadap penyerapan gas amonia. Nilai kapasitas adsorpsi yang dihasilkan akan saling berkaitan dengan nilai konsentrasi dan waktu yang digunakan. hasil kapasitas adsorpsi tertinggi berada pada waktu 30 menit menggunakan adsorben yang teraktivasi H₂SO₄ 20% dengan kapasitas adsorpsi 12,97% dan nilai kapasitas adsorpsi terendah terjadi menggunakan adsorben teraktivasi H₂SO₄ 5%, dengan waktu adsorpsi 60 menit.

Nilai kapasitas adsorpsi terbaik terjadi pada penggunaan aktivator dengan konsentrasi tertinggi yaitu 20%. Adsorben dengan aktivasi H₂SO₄ 20% memiliki kemampuan untuk menarik dan menahan molekul gas sehingga dihasilkan nilai kapasitas adsorpsi yang tinggi. Jika penggunaan konsentrasi aktivasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gasifikasi berlebih (proses termokimia menjadi bahan yang mudah terbakar). Semakin tinggi konsentrasi aktivasi akan menghasilkan jumlah pori yang semakin banyak serta ukuran pori akan lebih kecil [10]. Variabel lain yang perlu dianalisis adalah waktu kontak. Variasi waktu kontak bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh karbon aktif cangkang kelapa sawit teraktivasi H₂SO₄ sebagai adsorben untuk menyerap gas amonia sebagai adsorbat.

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan menggunakan adsorben teraktivasi dengan variasi waktu kontak 15-60 menit. Waktu kontak optimum terjadi pada menit ke-30. Waktu kontak awal dalam proses adsorpsi jumlah gas yang terjerap belum menunjukkan kenaikan yang konstan, permukaan adsorben belum terpenuhi hal itu dapat dikatakan adsorben masih mampu melakukan adsorpsi sampai waktu tertentu. Setelah kondisi optimum adsorben akan mengalami penurunan daya serap, hal ini terjadi karena karbon aktif yang dikontakkan mulai mencapai titik jenuh jika dikontakkan dalam waktu yang lama. Semakin lama waktu kontak maka adsorpsi terhadap gas amonia semakin menurun. Kondisi ini terjadi juga disebabkan adanya proses desorpsi atau pelepasan kembali adsorbat yang telah berinteraksi dengan adsorben.

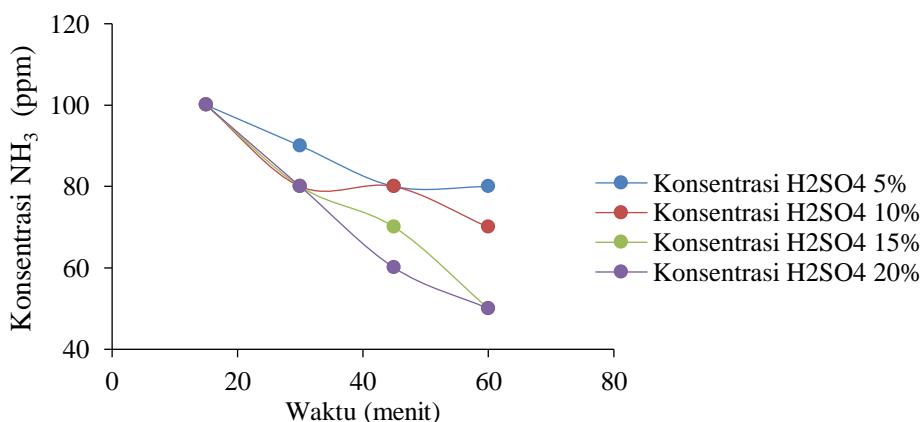


Gambar 1. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator dan Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Pengaruh Konsentrasi Aktivator dan Waktu Kontak

Konsentrasi NH₃ selama proses adsorpsi berlangsung dapat diketahui dan diuji dengan alat gas detektor yang mampu membaca konsentrasi gas khusus amonia dalam bentuk (ppm). Jenis alat *Drager Accuro Gas Detector* merupakan pompa tabung yang fungsinya untuk mendeteksi gas atau mengambil sampel udara melalui tabung deteksi. Tabung reaksi ini berisikan reagen kimia untuk analisis gas secara cepat dan akurat. Reagen dalam tabung reaksi mengandung butiran silika atau *inert carrier* yang merupakan indikator pengukuran yang awalnya berwarna kuning dan setelah dikontakkan dengan gas amonia berubah menjadi warna ungu pekat. Dengan perubahan warna reagen ini menunjukkan perubahan dan alat tersebut membaca kandungan konsentrasi yang masih tersisa dari proses adsorpsi yang berlangsung.

Hubungan antara waktu kontak dengan konsentrasi NH₃ selama proses adsorpsi. NH₃ mula-mula digunakan dalam konsentasi tetap yaitu 100 ppm, amonia tersebut dapat diturunkan konsentrasinya hingga 50 ppm. Terdapat empat kurva yang menunjukkan penurunan konsentrasi gas amonia, seiring bertambahnya waktu adsorpsi dari 15 hingga 60 menit. Penurunan konsentrasi gas paling signifikan terjadi pada penggunaan aktivator H₂SO₄ sebesar 15 dan 20% dengan waktu optimum 30 menit. Aktivator dengan konsentrasi H₂SO₄ 5 dan 10% menunjukkan proses penurunan yang cenderung lebih lambat dengan faktor akibat struktur pori yang belum optimal. Secara ilmiah, kondisi ini terjadi dengan prinsip bahwa proses aktivasi kimia menggunakan asam yang cukup kuat dapat mengoptimalkan karakteristik fisik dan kimia dalam suatu adsorben terutama dalam permukaan pori yang berperan aktif dalam penangkapan molekul gas [11].



Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Aktivator dan Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi

4. Kesimpulan

Pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku karbon aktif terbukti mampu digunakan sebagai adsorben gas amonia dan berpotensi besar sebagai adsorben ramah lingkungan. Cangkang kelapa sawit menghasilkan karbon aktif dengan struktur permukaan berpori yang mendukung proses adsorpsi serta memberikan kekuatan mekanik dan karbon tetap yang tinggi. Variasi konsentrasi aktivator (H₂SO₄) dan

waktu kontak berpengaruh signifikan terhadap kinerja adsorpsi karbon aktif. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 sebesar 20% dan waktu kontak 60 menit, dengan kapasitas adsorpsi mencapai 12,97%. Penurunan konsentrasi gas amonia dari 100 ppm menjadi 50 ppm menunjukkan kemampuan adsorptif yang tinggi dari karbon aktif cangkang kelapa sawit teraktivasi H_2SO_4 15 dan 20% pada waktu 60 menit

5. Daftar Pustaka

- [1] M. R. Rayhan, H. Marzuki, dan L. L. Legasari, "Analisis Kadar Amonia Bebas pada Pupuk Urea menggunakan Metode Autotitrator di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang," *Sains Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, vol. 13, hal. 22–28, 2024.
- [2] Ekawati, Christine JK. *Alternatif bahan baku arang aktif*. Rena Cipta Mandiri, 2023.
- [3] D. R. Zalsabitha dan A. Susanti, "Seleksi Proses dan Penentuan Kapasitas Pabrik Karbon Aktif dari Serbuk Gergaju Kayu," vol. 9, no. 9, hal. 251–257, 2023.
- [4] LA Ifa, Takdir Syarif, Darnengsih. *Bioadsorben dan Aplikasinya*. Yayasan Pendidikan Cendekia Muslim, 2021.
- [5] Lubis, Rizka Alfi Fadhilah, Hafni Indriati Nasution, and Moondra Zubir. "Production of activated carbon from natural sources for water purification." *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology* 3.2 (2020): 67-73.
- [6] J. Guo, W. S. Xu, Y. L. Chen, dan A. C. Lua, "Adsorption of NH₃ onto activated carbon prepared from palm shells impregnated with H₂SO₄," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 281, no. 2, hal. 285–290, 2005, doi: 10.1016/j.jcis.2004.08.101.
- [7] Auliya, Riri, Ni Luh Gede Ratna Juliasih, and Rinawati Rinawati. "Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari kulit pisang kepok (*Musa Paradisiaca* L.) sebagai adsorben senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Fenantrena." *Analit: Analytical and Environmental Chemistry* (2018).
- [8] Tani, Djefry. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif*. Penerbit NEM, 2023.
- [9] S. Sethupathi, M. J. Bashir, Z. A. Akbar, dan A. R. Mohamed, "Biomass-based Palm Shell Activated Carbon and Palm Shell Carbon Molecular Sieve as Gas Separation Adsorbents," *Waste Manag. Res.*, vol. 33, no. 4, hal. 303–312, 2015, doi: 10.1177/0734242X15576026.
- [10] Zulkania, Ariany, Aliya Nurhasanah, and Dwita Cahaya Pratiwi. "Pengaruh Delignifikasi Pada Karakteristik Karbon Aktif dan Biosorben dari Limbah Kulit Pisang Kepok." *Eksperi* 21.2 (2024): 103-110
- [11] Ramadhani, Lia F., et al. "Teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa." *Jurnal Teknik Kimia* 26.2 (2020): 42-53.