

## Efektivitas Komposisi Arang Aktif Campuran Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata*) Dan Zeolit Untuk Mengurangi Potensi Pencemaran Limbah Naftalena

Untung Sugiharto<sup>1\*</sup>, Roza Indra Laksmiana<sup>1</sup>, Risdiyana Setiawan<sup>1</sup>, Siti Fatika<sup>1</sup>, Fio Febrian<sup>1</sup>, Adinda Pitaloka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pascasarjana Program Studi Kimia, Institut Pertanian Bogor, Jl. Tanjung, Kampus Dramaga, Bogor, 16680

\*Corresponding Author : [oentoengsugiharto@apps.ipb.ac.id](mailto:oentoengsugiharto@apps.ipb.ac.id)

### Abstrak

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan penelitian di laboratorium memiliki karakteristik yang beragam, meskipun volumenya relatif kecil. Salah satu jenis limbah yang umum ditemukan adalah limbah yang mengandung poliaromatik hidrokarbon (PAH), seperti naftalena, yang bersifat toksik dan persisten di lingkungan sehingga memerlukan metode pengolahan yang efektif. Penyisihan naftalena dari limbah cair dapat dilakukan melalui berbagai proses fisika, kimia, maupun kombinasi keduanya, dengan metode adsorpsi sebagai salah satu teknik yang banyak diterapkan karena efisiensi dan kemudahannya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas campuran arang aktif kulit pisang kepok dan zeolit dalam menurunkan konsentrasi naftalena pada limbah cair laboratorium, serta menganalisis karakteristik kinetika dan isoterm adsorpsi dari campuran tersebut. Selain itu, penelitian ini membandingkan kinerja adsorpsi campuran dengan masing-masing bahan secara terpisah. Arang aktif kulit pisang kepok dan zeolit digunakan sebagai adsorben alami, dengan analisis daya serap untuk menentukan efisiensi penyisihan naftalena. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi arang aktif kulit pisang kepok dan zeolit dengan rasio 1:3 mampu mencapai efisiensi adsorpsi sebesar 99,051% dalam waktu 1 jam pada suhu 60°C. Temuan ini menunjukkan bahwa pencampuran kedua bahan tersebut menghasilkan sinergi dalam mekanisme adsorpsi, yang ditunjukkan oleh peningkatan luas permukaan dan efektivitas interaksi antara adsorben dan naftalena dalam larutan. Dengan demikian, kombinasi arang aktif kulit pisang kepok dan zeolit berpotensi sebagai material adsorben yang efektif untuk pengolahan limbah cair laboratorium yang mengandung naftalena.

**Kata kunci:** adsorpsi, arang aktif kulit pisang, limbah, naftalena, zeolit

### Abstract

The waste generated from laboratory research activities exhibits diverse characteristics, although its volume is relatively small. One common type of waste found in laboratories is waste containing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), such as naphthalene, which is toxic and persistent in the environment, necessitating effective treatment methods. The removal of naphthalene from liquid waste can be achieved through various physical and chemical processes or a combination of both, with adsorption being one of the most widely applied techniques due to its efficiency and ease of implementation. This study aims to evaluate the effectiveness of a mixture of activated carbon derived from kepok banana peel and zeolite in reducing naphthalene concentration in laboratory wastewater, as well as to analyze the adsorption kinetics and isotherm characteristics of the mixture. Additionally, this study compares the adsorption performance of the mixture with that of each material individually. Activated carbon from kepok banana peel and zeolite were used as natural adsorbents, and their adsorption capacity was analyzed to determine the efficiency of naphthalene removal. The results indicate that the combination of activated carbon from kepok banana peel and zeolite at a 1:3 ratio achieved an

adsorption efficiency of 99.051% within 1 hour at a temperature of 60°C. These findings suggest that combining both materials generates a synergistic adsorption mechanism, as evidenced by the increased surface area and enhanced interaction between the adsorbent and naphthalene in solutions. Thus, the combination of activated carbon from kepok banana peel and zeolite has the potential to serve as an effective adsorbent material for the treatment of laboratory wastewater containing naphthalene.

**Keywords :** adsorption, charcoal kepok banana peel, naphthalene, waste, zeolite

## PENDAHULUAN

Laboratorium di perguruan tinggi memiliki peran penting dalam mendukung kegiatan pendidikan dan penelitian bagi mahasiswa serta dosen. Aktivitas eksperimental dan penelitian di laboratorium tidak terlepas dari penggunaan berbagai bahan kimia, yang pada akhirnya menghasilkan limbah dengan karakteristik yang beragam, meskipun dalam volume yang relatif kecil. Salah satu jenis limbah yang umum dihasilkan adalah limbah yang mengandung *poliaromatik hidrokarbon* (PAH), yang bersifat toksik dan persisten di lingkungan (Galesong 2023). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, kandungan zat dalam air limbah laboratorium dapat dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga harus memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan. Parameter pencemar organik dalam limbah laboratorium mencakup *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Dissolved Oxygen* (DO), *Total Suspended Solids* (TSS), dan *Total Dissolved Solids* (TDS) (Andrés *et al.* 2023). Sementara itu, kandungan anorganik dapat berupa sulfat, nitrat, nitrit, amonia, fosfat, serta senyawa spesifik seperti naftalena, yang menjadi fokus dalam penelitian ini terkait dengan mekanisme penjerapan poliaromatik hidrokarbon dari limbah laboratorium.

Keberadaan PAH dalam limbah laboratorium berpotensi mencemari air tanah dan air permukaan, sehingga dapat membahayakan keseimbangan ekosistem perairan dan organisme di dalamnya (Galesong 2023). Selain itu, paparan PAH terhadap manusia melalui air dan udara yang terkontaminasi dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan, termasuk gangguan pada sistem saraf, ginjal, dan hati (Galesong 2023). Oleh karena itu, upaya pengurangan cemaran PAH dalam limbah laboratorium menjadi sangat penting untuk mencegah dampak lingkungan dan kesehatan yang lebih luas. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi kandungan PAH dalam limbah, antara lain melalui penerapan teknik pengolahan limbah yang efektif, penggunaan bahan kimia yang lebih ramah lingkungan, serta praktik laboratorium yang berkelanjutan guna meminimalkan produksi limbah berbahaya (Anggraini *et al.* 2022).

Penyisihan PAH dari limbah cair laboratorium dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, baik secara fisika, kimia, maupun kombinasi keduanya. Salah satu metode yang umum diterapkan adalah adsorpsi, yang dikenal efektif dalam menghilangkan senyawa organik dari limbah cair (Apriyani dan Novrianti 2020). Selain adsorpsi, metode lain seperti presipitasi dan koagulasi juga dapat digunakan, baik secara mandiri maupun dalam kombinasi dengan teknik lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi daya serap poliaromatik hidrokarbon oleh arang aktif dan zeolit, serta mengevaluasi kinerja kedua bahan tersebut dalam menurunkan konsentrasi PAH pada limbah laboratorium. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi yang efektif dan ekonomis dalam pengelolaan limbah laboratorium serta memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai karakteristik adsorpsi dari masing-masing material dalam menangani pencemaran PAH.

Penelitian ini menggunakan bahan alami berupa arang aktif dan zeolit sebagai adsorben. Beberapa material alami diketahui memiliki kemampuan dalam mengikat PAH dalam air, seperti sekam padi, limbah jerami, cangkang kakao, kulit durian, kulit telur, dan kulit pisang. Berdasarkan (Widyaningsih 2022), kulit pisang kepok dapat dimanfaatkan sebagai bahan karbon aktif dengan nilai karbonisasi mencapai 96,56%. Kulit pisang kepok mengandung gugus fungsi aktif, seperti gugus hidroksil (-OH), yang berperan dalam proses adsorpsi PAH (Putri Rahayu *et al.* 2021). Selain itu, zeolit merupakan mineral alami yang melimpah dan memiliki struktur pori-pori yang teratur, sehingga sangat potensial untuk diaplikasikan sebagai adsorben dalam pengolahan limbah PAH (Fajriani *et al.* 2022). Zeolit juga memiliki biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan material adsorpsi sintetis lainnya, menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis untuk aplikasi pengolahan limbah laboratorium (Putri dan Side 2020). Dengan mempertimbangkan keunggulan kedua bahan tersebut, penelitian ini mengeksplorasi potensi kombinasi arang aktif kulit pisang kepok dan zeolit sebagai material adsorben yang efisien dalam menurunkan kandungan PAH dalam limbah laboratorium.

## METODE

## **Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain spektrofotometer UV-Vis, oven, ayakan 200 mesh, timbangan analitik, kertas saring, alu, mortar, peralatan gelas, dan tanur.

## **Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain aquades, zeolit batuan alam, arang aktif kulit pisang kepok, dan HCl.

## **Metode penelitian**

### **Persiapan bahan baku zeolite**

Persiapan bahan baku dengan cara menghaluskan zeolit dengan crusher dalam bentuk bongkahan menjadi lebih kecil dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Setelah itu dihaluskan dengan ukuran lebih kecil menggunakan pulverizer lalu diayak dengan ayakan 200 mesh.

### **Persiapan arang aktif kulit pisang kepok**

Kulit pisang dicuci dengan air kemudian dikeringkan selama dua hari di bawah sinar matahari. Kulit pisang yang telah dikeringkan lalu dipotong dengan ukuran  $\pm 3$  cm. Kemudian dikeringkan dalam oven selama 2 jam dengan suhu 105°C dan potongan kulit pisang dihaluskan hingga berbentuk serbuk dengan mortar. Serbuk tersebut dibakar di atas api langsung untuk menghilangkan zat organik di dalamnya. Setelah itu, serbuk kulit pisang dimasukkan dalam furnace untuk proses karbonisasi dengan suhu 400 °C selama 1,5 jam. Setelah itu serbuk arang kulit pisang diayak dengan ayakan 200 mesh.

### **Aktivasi zeolit dan arang aktif**

Arang kulit pisang kepok dan zeolite diberi larutan HCl kemudian diaduk dengan waktu kontak 4 jam. Selanjutnya zeolit dan arang aktif kulit pisang yang telah diaktivasi disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH filtrat netral  $\pm 7$ . Selanjutnya dikeringkan pada suhu 135 °C selama 3 jam.

### **Metode analisa**

Sampel limbah didapatkan dari laboratorium kimia IPB

### **Penentuan daya serap zeolit dan arang aktif terhadap limbah cair laboratorium**

Proses pengolahan limbah laboratorium pada penelitian ini dilakukan dengan metode tipe batch. Zeolit dan arang aktif di campurkan dengan komposisi perbandingan 75:25, 50:50, dan 25:75. Air limbah diencerkan dengan akuades sampai volume 100 ml, kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing 12 gelas beker campuran zeolit dan arang aktif yang

berukuran 500 ml. Setelah itu dilakukan pengadukan dengan variasi waktu selama 30 menit, 1 jam, dan 2 jam pada suhu 35 °C. Selain itu, dilakukan juga variasi suhu lain, yaitu 35 °C, 45 °C dan 60°C. Sampel kemudian disaring menggunakan kertas saring, lalu diuji menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Metode uji yang digunakan dalam pengujian kualitas air limbah laboratorium menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-6989-27-2004 bidang lingkungan kualitas air dan air limbah.

### **Analisis data**

Analisis data yang digunakan adalah analisis statistika deskriptif dan analisis regresi linier. Analisis deskriptif digunakan untuk perhitungan penentuan kondisi optimum adsorpsi. Analisis regresi linier digunakan dalam pembuatan kurva standar dalam penentuan efektivitas adsorpsi dari naftalena.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Arang aktif yang diperoleh dari kulit pisang kepok memiliki keunggulan dibandingkan dengan arang aktif yang berasal dari sumber biomassa lainnya. Salah satu faktor utama yang mendukung efektivitasnya sebagai adsorben adalah kandungan selulosa yang relatif tinggi dibandingkan dengan jenis pisang lainnya, dengan total selulosa mencapai 17,04% dan kandungan alfa-selulosa sebesar 94% (Jubilate *et al.* 2016). Tingginya kandungan selulosa ini berkontribusi terhadap peningkatan luas permukaan serta jumlah situs aktif pada arang aktif yang dihasilkan, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap berbagai kontaminan dalam air (Widyaningsih 2022). Dengan karakteristik tersebut, arang aktif dari kulit pisang kepok memiliki potensi yang signifikan sebagai material adsorben yang efektif dalam pengolahan limbah cair, khususnya dalam penyerapan senyawa organik dan anorganik berbahaya.

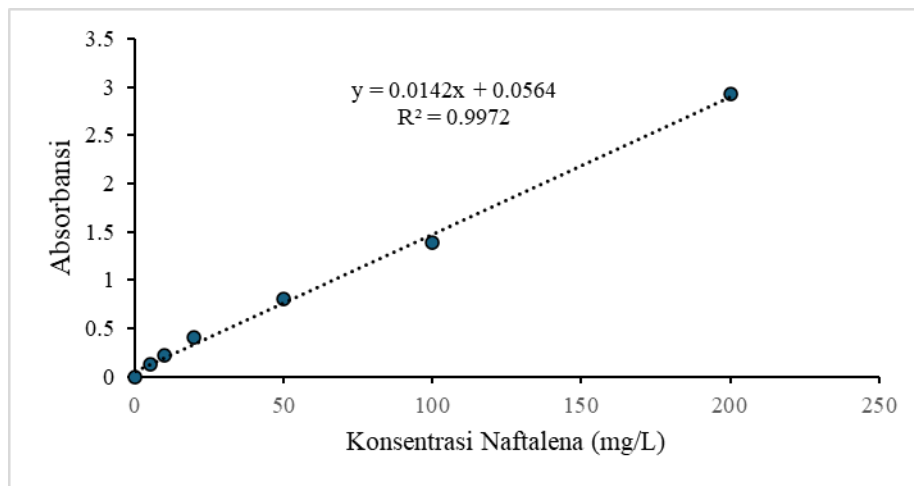
Zeolit dan arang aktif memiliki mekanisme adsorpsi yang berbeda dalam proses penyerapan polutan. Zeolit bekerja berdasarkan mekanisme pertukaran ion, di mana ion polutan dalam larutan dipertukarkan dengan ion yang terdapat dalam struktur zeolit, sehingga memungkinkan pengikatan polutan bermuatan secara selektif (Fajriani *et al.* 2022). Sementara itu, arang aktif mengandalkan mekanisme adsorpsi fisik melalui gaya Van der Waals, di mana molekul polutan tertarik ke permukaan arang aktif tanpa membentuk ikatan kimia

secara langsung (Putri Rahayu *et al.* 2021). Kombinasi kedua mekanisme ini dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi dengan memperluas cakupan jenis polutan yang dapat diserap serta meningkatkan kapasitas penyerapan total. Dengan demikian, sistem adsorpsi yang memanfaatkan zeolit dan arang

aktif secara bersamaan mampu menghasilkan metode pengolahan limbah yang lebih efektif dan komprehensif, terutama dalam menghilangkan berbagai jenis kontaminan dari air limbah.

**Tabel 1. Pembuatan kurva standar naftalena**

| Konsentrasi (ppm) | Absorbansi |
|-------------------|------------|
| 0                 | 0          |
| 5                 | 0,132      |
| 10                | 0,214      |
| 20                | 0,404      |
| 50                | 0,801      |
| 100               | 1,384      |
| 200               | 2,926      |



**Gambar 1.** Kurva kalibrasi standar naftalena

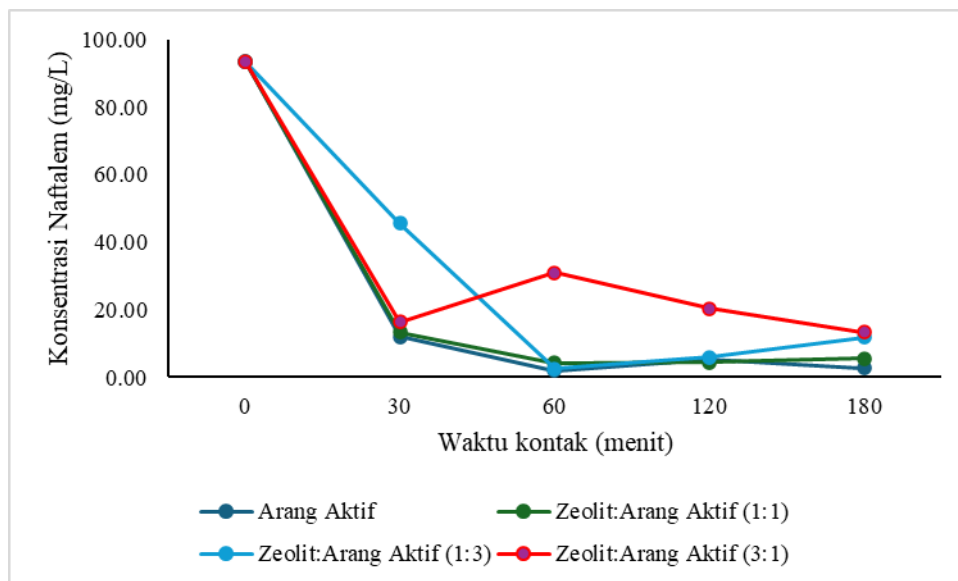
Sebelum digunakan dalam proses adsorpsi naftalena, campuran arang aktif dan zeolit dengan perbandingan 1:1, 1:3, dan 3:1 masing-masing diaktivasi melalui metode aktivasi kimia menggunakan larutan asam klorida (HCl) serta aktivasi fisika melalui pemanasan pada suhu 135 °C selama 3 jam. Aktivasi merupakan perlakuan yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan pori dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan, sehingga menyebabkan perubahan sifat fisika dan kimia pada arang aktif serta zeolit (Apriyani dan Novrianti 2020). Perubahan ini berkontribusi pada peningkatan kapasitas dan efisiensi adsorpsi material. Efektivitas aktivasi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, termasuk waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio aktivator, serta jenis aktivator yang digunakan (Muamar *et al.* 2020). Dalam penelitian ini, faktor-faktor tersebut berperan dalam menentukan daya serap optimal arang aktif dan zeolit terhadap naftalena. Dengan demikian, proses aktivasi menjadi tahap yang krusial dalam sistem adsorpsi, selain pemilihan bahan baku yang digunakan, guna

memastikan efektivitas pengolahan limbah secara optimal.

Pada percobaan pertama dilakukan variasi terhadap waktu kontak dengan perbandingan komposisi konsentrasi arang aktif dan zeolit yang berbeda-beda pada suhu yang konstan yaitu 35°C.

**Tabel 2.** Variasi percobaan komposisi arang aktif dan zeolit dengan waktu kontak pada suhu 35°C.

| Komposisi<br>Zeolit : Arang<br>Aktif | Waktu<br>Kontak<br>(menit) |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 0 : 1                                | 30                         |
| 1 : 1                                | 60                         |
| 1 : 3                                | 120                        |
| 3 : 1                                | 180                        |



**Gambar 2.** Grafik hasil adsorpsi sampel antara waktu kontak dan konsentrasi naftalen pada suhu 35°C

Hasil penelitian yang diperoleh dapat diamati pada Gambar 2, di mana kombinasi zeolit dan arang aktif dengan rasio zeolit:arang aktif sebesar 1:3 menunjukkan efisiensi penyerapan naftalena yang lebih tinggi dibandingkan dengan rasio lainnya. Data yang disajikan dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi zeolit dan arang aktif dengan rasio 1:3 pada suhu kontak 35°C mencapai efisiensi penyerapan tertinggi pada waktu kontak selama 60 menit. Efisiensi tinggi ini disebabkan oleh struktur pori zeolit yang sangat baik dalam mengadsorpsi molekul kecil serta senyawa hidrokarbon aromatik seperti naftalena (Galesong 2023). Zeolit diketahui memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi serta selektivitas yang baik terhadap kontaminan organik (Fajriani *et al.* 2022). Oleh karena itu, rasio zeolit:arang aktif 1:3 dapat dianggap sebagai rasio optimal yang memaksimalkan luas permukaan adsorben serta meningkatkan sinergi mekanisme penyerapan, sehingga menghasilkan sistem adsorpsi yang lebih efektif dalam pengolahan limbah.

Pada percobaan kedua, dilakukan variasi waktu kontak dengan komposisi zeolit dan arang aktif dalam rasio 1:3, berdasarkan hasil percobaan pertama. Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 3, waktu kontak optimum ditemukan pada 60 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 97,318%. Waktu kontak selama 1 jam memberikan keseimbangan optimal antara laju difusi dan jumlah molekul naftalena yang berhasil diadsorpsi. Waktu

kontak yang terlalu lama kemungkinan tidak akan meningkatkan efisiensi lebih lanjut karena sebagian besar situs adsorpsi telah terisi, sedangkan waktu kontak yang terlalu singkat dapat menghambat proses difusi dan mengurangi efektivitas adsorpsi (Muamar *et al.* 2020).

Pada percobaan ketiga, dilakukan variasi suhu dengan waktu kontak selama 60 menit, berdasarkan hasil percobaan kedua. Berdasarkan data dalam Tabel 4, suhu optimum untuk proses adsorpsi adalah 60°C, dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99,051%. Hasil ini lebih unggul dibandingkan adsorben berbasis material lain, seperti: Silika gel (efisiensi adsorpsi naftalena ~85-90% pada suhu 60°C) (Wibowo *et al.*, 2021), Arang aktif tempurung kelapa (efisiensi ~92-95% pada suhu 50-70°C) (Siregar *et al.*, 2020), Biochar sekam padi (efisiensi ~88% pada suhu 60°C) (Nurhayati *et al.*, 2023). Keunggulan kombinasi zeolit-arang aktif kulit pisang kepok ini disebabkan oleh peningkatan aktivitas molekuler pada suhu tinggi, yang mempercepat difusi naftalena ke dalam pori-pori adsorben. Selain itu, suhu 60°C juga memfasilitasi desorpsi molekul air yang menutupi situs aktif, sehingga lebih banyak pori tersedia untuk interaksi dengan naftalena (Anggraini *et al.*, 2022). Keberhasilan material ini dalam mencapai efisiensi >99% menunjukkan potensinya sebagai alternatif berkelanjutan pengganti adsorben konvensional, terutama karena memanfaatkan limbah pertanian (kulit pisang kepok) yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah.

**Tabel 3. Nilai efisiensi komposisi Zeolit dan Arang Aktif 1:3 pada suhu 35°C.**

| Waktu Kontak<br>(menit) | [Naftalena]<br>awal (mg/L) | [Naftalena]<br>akhir<br>(mg/L) | E (%)  |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------|
| 30                      | 93,493                     | 45,676                         | 51,145 |
| 60                      | 93,493                     | 2,507                          | 97,318 |
| 120                     | 93,493                     | 5,958                          | 93,628 |
| 180                     | 93,493                     | 11,873                         | 87,300 |

**Tabel 4. Nilai efisiensi pada variasi suhu dengan komposisi Zeolit dan Arang Aktif 1:3 dengan waktu kontak selama 1 jam.**

| Variasi Suhu<br>(°C) | [Naftalena]<br>awal (mg/L) | [Naftalena]<br>akhir<br>(mg/L) | E (%)  |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------|--------|
| 35                   | 93,493                     | 2,507                          | 97,318 |
| 45                   | 93,493                     | 6,098                          | 93,477 |
| 60                   | 93,493                     | 0,887                          | 99,051 |

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa arang aktif yang dihasilkan dari kulit pisang kepek memiliki keunggulan dibandingkan dengan arang aktif berbasis material lain, seperti kayu atau batu bara. Kandungan selulosa yang tinggi dalam kulit pisang kepek, mencapai 17,04% dengan alfa-selulosa sebesar 94%, menjadikannya bahan adsorben yang sangat efektif dalam proses penyerapan kontaminan dalam limbah air. Efektivitas ini lebih tinggi dibandingkan arang aktif dari kayu (efisiensi adsorpsi ~85-90%) (Giri et al., 2020) dan batu bara (~80-88%) (Zhang et al., 2018). Selain itu, keberadaan zat pektin dengan gugus karboksilat dalam selulosa berperan penting dalam mengikat ion logam, sehingga meningkatkan efisiensi adsorpsi zat terlarut dari larutan limbah. Kombinasi arang aktif kulit pisang kepek dengan zeolit menunjukkan hasil optimal pada rasio 1:3, dengan efisiensi adsorpsi naftalena mencapai 99,051% pada suhu 60°C dalam waktu 1 jam. Temuan ini lebih baik dibandingkan penelitian sebelumnya yang menggunakan arang sekam padi (efisiensi 92%) (Putra et al., 2021) dan arang tempurung kelapa (efisiensi 94%) (Haryanto et al., 2019). Komposisi campuran tersebut mampu memaksimalkan luas permukaan dan sinergi mekanisme adsorpsi kedua bahan. Dengan struktur pori yang bervariasi dan luas

permukaan yang besar, kombinasi arang aktif dan zeolit memungkinkan penyerapan molekul-molekul organik yang lebih besar dan kompleks, sekaligus meningkatkan aspek keberlanjutan dalam proses produksi melalui pemanfaatan limbah pertanian sebagai material adsorben.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa rekomendasi yang dapat disarankan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan pada Skala Industri, penggunaan arang aktif dari kulit pisang kepek dan zeolit sebaiknya dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi pada skala industri, mengingat efektivitasnya dalam mengurangi potensi pencemaran limbah naftalena. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan proses produksi serta mengkaji penerapan teknologi ini dalam sistem pengolahan limbah berskala besar.
2. Uji Coba pada Berbagai Jenis Limbah Kombinasi arang aktif dan zeolit yang digunakan dalam penelitian ini sebaiknya diuji lebih lanjut pada berbagai jenis limbah industri, termasuk limbah organik dan logam berat. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam konteks yang lebih luas serta

memahami mekanisme adsorpsi terhadap kontaminan yang berbeda.

3. Evaluasi Aspek Ekonomi

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menganalisis aspek ekonomi dari produksi dan penggunaan arang aktif berbasis kulit pisang kepok. Studi yang mencakup analisis biaya-manfaat diperlukan guna memastikan bahwa teknologi ini dapat diterapkan secara efisien dan ekonomis dalam jangka panjang, sehingga dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam pengolahan limbah industri.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini merupakan bagian dari perkuliahan Metodologi Riset Kimia pada Program Studi Pasca Sarjana Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, dengan bimbingan dari Dr. Henny Purwaningsih, S.Si., M.Si.

### **DAFTAR PUSTAKA**