

	<p>KARAKTERISASI ADSORBEN KARBON AKTIF DARI SABUT PINANG (<i>Areca catechu</i>) TERHADAP KAPASITAS ADSORPSI ZAT WARNA <i>INDIGOSOL BLUE</i> 04-B Ahmad Fitriansyah^{*1}, Hermansyah Amir², Elvinawati³ ^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP Universitas Bengkulu *E-mail : ahmadfitriansyah32323@gmail.com</p>					
						

ABSTRACT

The purpose of this research was to characterize the activated charcoal made from fibers of *Areca catechu* and to determine how the effect of pH, contact time, adsorbent and temperature on the adsorption process of the dye *Indigosol Blue* 04-B and determines its adsorption capacity. Active charcoal making is done by carbonation and activation. The activator used was H_3PO_4 10% with a soaking time of 24 hours and activation temperature $150^\circ C$ for 30 minutes. Characterization was performed using UV-Vis Spectrophotometry and Brunauer-Emmet-Teller (BET). The optimum wavelength of *Indigosol Blue* 04-B dyes was got from characterization using spectrophotometer UV-Vis was 580 nm. The surface area produced by activated charcoal is $41,101 \text{ m}^2/\text{g}$. Types of isotherms tested were Langmuir and Freundlich isotherms. The optimum conditions for *Indigosol Blue* 04-B dyes was pH 7, contact time 40 minutes, adsorbent weight 150 mg and the temperature $25^\circ C$. The adsorption capacity of activated charcoal to *Indigosol Blue* 04-B with using a isotherm Freundlich dye was $19,8 \text{ mg/g}$.

Keywords: Adsorption, Activated charcoal, *Areca fibers*, *Indigosol Blue* 04-B

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi arang aktif yang dibuat dari sabut pinang (*Areca catechu*) dan untuk menentukan bagaimana pengaruh pH, waktu kontak, berat adsorben dan suhu pada proses adsorpsi zat warna *Indigosol Blue* 04-B serta menentukan kapasitas adsorpsinya. Pembuatan arang aktif dilakukan dengan cara karbonasi dan aktivasi. Aktivator yang digunakan yaitu H_3PO_4 10% dengan waktu perendaman selama 24 jam dan suhu aktivasi $150^\circ C$ selama 30 menit. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dan Brunauer-Emmet-Teller (BET). Panjang gelombang optimum larutan zat warna *Indigosol Blue* 04-B yang diperoleh dari karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis sebesar 580 nm. Luas permukaan yang dihasilkan oleh arang aktif sabut pinang yaitu $41,101 \text{ m}^2/\text{g}$. Jenis isoterm yang diuji yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich. Kondisi optimum adsorpsi pada zat warna *Indigosol Blue* 04-B yaitu pada pH 7, waktu kontak 40 menit, berat adsorben 50 mg dan pada suhu $25^\circ C$. Kapasitas adsorpsi arang aktif sabut pinang terhadap zat warna *Indigosol Blue* 04-B dengan menggunakan isoterm Freundlich adalah sebesar $19,8 \text{ mg/g}$.

Kata kunci: Adsorpsi, arang aktif, sabut pinang, *Indigosol Blue* 04-B

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil di Indonesia telah maju dengan pesat, industri tekstil juga merupakan penyumbang terbesar dalam perolehan devisa Indonesia. Salah satu proses yang sering digunakan dalam produksi industri tekstil adalah proses pewarnaan [1].

Zat warna sendiri dibagi menjadi dua yaitu zat warna alami dan zat warna sintetis. Zat warna yang sering digunakan pada proses pewarnaan tekstil adalah zat warna sintetis karena dianggap lebih praktis dan hasil yang diperoleh pun lebih berkualitas, sehingga hampir semua industri tekstil lebih memilih zat warna ini dibandingkan zat warna alami [2].

Salah satu zat warna sintetis yang sering digunakan adalah *Indigosol Blue* 04-B karena zat

warna ini memberikan warna yang bagus akan tetapi sulit terurai [3]. Hal ini dapat menimbulkan dampak negatif yaitu berupa limbah zat warna pada proses pewarnaan ini secara tidak langsung dapat menimbulkan masalah karena pada umumnya limbah dari hasil pewarnaan ini banyak dibuang diselokan, sungai atau perairan lainnya tanpa diolah terlebih dahulu [4].

Menurut Peraturan Pemerintah No. 19 tahun 1994, limbah yang dihasilkan industri tekstil dikelompokkan sebagai limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) sehingga harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan [5].

Ada beberapa metode telah dikembangkan untuk menanggulangi masalah pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh senyawa

organik cair yang berasal dari zat warna industri tekstil diantaranya adalah melalui metode koagulasi, filtrasi dan adsorpsi [6].

Koagulasi adalah peristiwa destabilisasi dari partikel-partikel koloid di mana gaya tolak menolak (repulsi) di antara partikel-partikel tersebut dikurangi atau dihilangkan. Partikel-partikel koloid yang terdapat dalam suatu wadah ataupun aliran air pada dasarnya bermuatan negatif pada permukaannya. Muatan ini menyebabkan gaya tolak-menolak di antara partikel-partikel sehingga menghalangi terjadinya agregasi dari partikel-partikel menjadi agregat yang lebih besar [7]. Metode koagulasi ini memiliki beberapa kekurangan salah satunya memerlukan proses yang cukup rumit.

Metode filtrasi merupakan alternatif yang digunakan untuk menghilangkan zat warna pada pewarna tekstil, namun metode ini juga memiliki kelemahan yaitu efektifitas penyerapan limbah zat warna yang relatif rendah [8].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran industri tekstil yaitu dengan menggunakan metode adsorpsi. Metode adsorpsi diketahui sebagai salah satu metode yang efektif digunakan untuk menghilangkan warna pada limbah zat warna. Pemisahan dengan adsorpsi dapat menggunakan berbagai macam bahan adsorben seperti zeolit, silica gel karbon aktif, kitosan dan bentonit [9].

Utomo dkk (2019) telah melakukan penelitian menggunakan karbon aktif sebagai adsorben zat warna tekstil *Naphthol Yellow S* yang dibuat dari sampel ampas tebu yang menunjukkan hasil uji adsorpsi terbaik ditunjukkan oleh sampel dengan konsentrasi aktivator 0,5 M, massa 0,2 g dan waktu kontak 30 menit dengan kapasitas adsorpsi 95,81% atau jumlah zat warna teradsorpsi sebesar 143,72 mg/g. [10].

Beberapa tahun terakhir, para peneliti terus mencari bahan yang lebih efisien, ekonomis dan praktis untuk dijadikan material adsorben yang inovatif dan menjanjikan untuk memecahkan masalah limbah cair industri tekstil.

Karbon aktif adalah adsorben yang biasa digunakan karena luas permukaannya yang besar di antara adsorben lainnya [11]. Karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon dan memiliki kandungan selulosa yang tinggi. Bahan-bahan tersebut antara lain kayu,

batu bara muda, tulang, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, tandan kelapa sawit, limbah pertanian seperti kulit buah kopi, sabut buah coklat, sekam padi, jerami, tongkol, dan pelepah jagung [12].

Salah satu bahan yang juga memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi adalah sabut Pinang (*Areca catechu*) dengan kandungan lignoselulosa yang tersusun atas unsur karbon sehingga bisa dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan arang aktif untuk mengadsorpsi limbah cair [13].

Pinang (*Areca catechu*) merupakan salah satu tanaman Palma yang banyak terdapat di seluruh wilayah Indonesia. Sampai saat ini pusat tanaman Pinang di Indonesia adalah di pulau Sumatera dan Kalimantan termasuk di daerah Bengkulu. Biji Pinang merupakan bagian terdalam dari buah Pinang yang ditutupi oleh cangkang, sabut dan kulit buah Pinang yang banyak digunakan sebagai bahan makanan dan bahan baku industri seperti pewarna kain dan obat-obatan [14].

Hasil pengolahan terhadap buah Pinang tersebut masih menyisakan limbah berupa sabut Pinang yang sejauh ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kuas gambar atau kuas alis mata. Pemanfaatan sabut Pinang yang lebih lanjut misalnya sebagai karbon aktif yang akan digunakan untuk adsorben limbah zat warna tekstil yang belum dilakukan. Adanya selulosa pada sabut Pinang tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk pembuatan karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben.

Dari penjelasan diatas peneliti bermaksud memanfaatkan sabut Pinang sebagai adsorben zat warna sintesis dengan terlebih dahulu mengetahui pH larutan, waktu kontak dan berat adsorben optimum yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi pada arang aktif yang digunakan kemudian akan dilihat perbandingan daya serap maksimum pada zat warna *Indigosol Blue 04-B*.

Berdasarkan latar belakang ini peneliti melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengkaraterisasi adsorben karbon aktif dari sabut Pinang (*Areca catechu*) sebagai adsorben zat warna *Indigosol Blue 04-B*, menentukan kondisi optimum adsorpsi yang meliputi pH, waktu kontak, berat adsorben dan suhu, serta

menentukan isotherm adsorpsi dari adsorben sabut Pinang.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada beberapa tempat yaitu, di Laboratorium Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Bengkulu dan di Laboratorium Peternakan Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu (UNIB) berlangsung pada bulan Mei - Juni 2017.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah: Spektrofotometer UV-Vis, quantachrome novawin, neraca analitis, corong kaca, desikator, tabung reaksi, furnace, gelas kimia, pipet tetes, pipet mikro, botol vial, oven, cawan porselin, kaca arloji, termometer, desikator, labu ukur, erlemeyer, pengaduk magnetik, pH meter, gelas ukur 10 mL, 25 dan 50 mL, shaker v 150 rpm, ayakan 100 mesh, corong, sudip, limbah sabut Pinang, larutan NaNO_2 0,1 M, larutan H_3PO_4 10 %, larutan HCl 1 M, aquades, kertas pH, kertas saring, zat warna *Indigosol Blue 04-B*.

Pembuatan Arang Aktif

Sabut Pinang dipisahkan dari biji dan kulit Pinang. Sampel sabut Pinang selanjutnya dicuci bersih dengan air keran kemudian dengan akuades lalu dipotong kecil-kecil. Sabut Pinang dikeringkan dibawah matahari selama ± 3 hari.

Proses karbonisasi dilakukan dengan memasukkan sampel limbah sabut Pinang ke dalam cawan porselin 25 gram ke dalam furnace. Furnace tersebut diatur suhunya sampai suhu maksimal 300°C selama ± 45 menit, kemudian arang sabut Pinang didiamkan hingga dingin dalam desikator

Proses aktivasi dilakukan dengan mengayak arang hasil pembakaran menggunakan ayakan 100 mesh agar dapat memiliki ukuran yang seragam. Lalu direndam selama 24 jam menggunakan bahan aktivator H_3PO_4 10 %. Kemudian, disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 150°C selama 30 menit.

Karakterisasi Arang Aktif sabut Pinang (AASP)

a. Kadar Air

Penentuan kadar air ditentukan dengan cara mengambil sebanyak kurang lebih 0,5 g AASP dimasukkan kedalam cawan porselin yang sudah ditimbang dan diketahui beratnya. Kemudian keduanya dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam kemudian diangkat dan didiamkan hingga berat konstan.

Kadar air dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kadar Air} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\%$$

Dengan : A = bobot sampel mula-mula (g)

B = bobot sampel kering (g)

b. Kadar Abu

Penentuan kadar abu ditentukan dengan cara menimbang cawan porselin untuk diketahui bobotnya, seberat 1 g AASP dimasukkan kedalam cawan porselin. Selanjutnya dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu 600°C selama 3 jam. Setelah itu, cawan dikeluarkan dan didiamkan, setelah dingin ditimbang.

Kadar abu dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar Abu} = \frac{\text{Berat Akhir (g)}}{\text{Berat Awal (g)}} \times 100\%$$

c. Pembuatan Larutan Standar Zat Warna

Indigosol Blue 04-B

Pembuatan larutan standar zat warna *Indigosol Blue 04-B* dilakukan dengan membuat larutan induk terlebih dahulu. Pembuatan larutan induk dilakukan dengan melarutkan zat warna *Indigosol Blue 04-B* sebanyak 1 gram lalu ditambahkan (NaNO_2) sebanyak 1 gram lalu dilarutkan dengan akuades panas secukupnya hingga mencapai volume larutan sebesar 250 ml. Selanjutnya diwadahi lain, dilarutkan HCl 1 M dengan air hingga volume 250 ml.

Kemudian HCl yang didapatkan sebelumnya dicampurkan dengan larutan zat warna dengan perbandingan volume 1 : 3, sehingga dihasilkan larutan induk zat warna. Stok untuk larutan standar zat warna dibuat dengan konsentrasi 1000 ppm dalam labu ukur 1 L.

Dari larutan stok divariasikan larutan standar dengan konsentrasi 200 ppm dan 100 ppm. Variasi konsentrasi larutan standar zat warna dibuat dengan mengencerkan larutan stok secara bertahap menggunakan persamaan :

$$M1 \cdot V1 = M2 \cdot V2$$

d. Penentuan Panjang Gelombang Optimum

(λ) Zat Warna *Indigosol Blue 04-B*

Panjang gelombang optimum (λ) dapat ditentukan dengan cara mengambil 10 mL dari larutan *Indigosol Blue 04-B* 100 ppm menggunakan pipet mikro. Absorbansinya diukur dengan menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada area panjang gelombang *visible* yaitu, rentang 500-650 nm .

e. Pembuatan Kurva Kalibrasi Metode Spektrofotometri UV-Vis

Dibuat larutan standar zat warna *Indigosol Blue 04-B* dengan konsentrasi yang bervariasi yaitu 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm dengan cara mengencerkan larutan standar zat warna 200 ppm, dengan memipet 5; 10; 15; 20; dan 25 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, lalu diencerkan dengan akuades hingga garis tanda batas, dihomogenkan. Serapannya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Berdasarkan data serapan yang diperoleh dibuat kurva standar yang merupakan plot hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi

f. Adsorpsi Zat Warna *Indigosol Blue 04-B* Oleh Arang Aktif Sabut Pinang

1. Penentuan pH optimum

Penentuan pH optimum dilakukan dengan cara mengambil larutan standar zat warna *Indigosol Blue 04-B* 100 ppm masing – masing sebesar 10 mL menggunakan pipet gondok, lalu dimasukkan ke dalam botol vial.

Diatur pH nya dengan penambahan NaOH dan HCl menjadi pH 4, 5, 6, 7, dan 8, kemudian ditambahkan arang aktif sebanyak 100 mg ke dalam masing-masing larutan.

Campuran diaduk dengan menggunakan *shaker* selama 60 menit pada suhu kamar dengan kecepatan 150 rpm, kemudian disaring lalu diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis

2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak optimum dapat ditentukan dengan cara mengambil larutan standar zat warna *Indigosol Blue 04-B* 100 ppm masing–masing sebesar 10 mL ke dalam botol vial, kemudian

ditambahkan arang aktif sebanyak 100 mg pada suhu kamar dan pada pH optimum.

Diaduk menggunakan *shaker* dengan variasi waktu kontak selama 5, 10, 20, 30, 40, 60, dan 90 menit, lalu disaring larutan menggunakan kertas saring. Absorbansinya diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis

3. Penentuan Berat Adsorben Optimum

Berat adsorben optimum dapat ditentukan dengan cara mengambil larutan standar zat warna *Indigosol Blue 04-B* masing–masing 10 mL dengan konsentrasi 100 ppm menggunakan pipet mikro.

Kondisinya diatur pada pH optimum dan dimasukkan ke dalam botol vial, lalu ditambahkan adsorben dengan variasi berat yaitu 25 : 50 : 75 : 100 : 125 : dan 150 mg.

Campuran diaduk menggunakan *shaker* selama waktu kontak optimum dan pada pH optimum, kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV- Vis

4. Penentuan Pengaruh Suhu

Untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap proses adsorpsi dapat dilakukan cara dengan mengambil 10 mL larutan warna *Indigosol Blue* 100 ppm menggunakan pipet gondok, lalu diatur pada pH optimum.

Suhu pemanasan divariasikan pada suhu 25 : 30: 40: 50: 60: dan 70 °C, lalu ditambah berat arang aktif optimum dan diaduk menggunakan *shaker* selama waktu kontak optimum dengan kecepatan 150 rpm pada pH optimum, waktu kontak optimum dan berat adsorbansi optimum.

Larutan tadi disaring dengan menggunakan kertas saring dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis

5. Penentuan Isoterm Adsorpsi larutan *Indigosol Blue 04-B* dengan menggunakan pipet mikro.

Konsentrasi yang digunakan divariasikan terlebih dahulu, dengan konsentrasi 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 ppm yang telah diatur pada pH optimum, kemudian ditambah arang aktif dengan berat optimum dan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama waktu kontak optimum. Larutan disaring dengan menggunakan kertas saring dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV – Vis .

6. Analisis Data

Data hasil variasi pH, variasi berat adsorben, dan waktu kontak dibuat kurva sehingga dapat ditentukan pH, berat adsorben, konsentrasi dan waktu kontak optimum dengan menggunakan program Excel.

Untuk analisis data juga dilakukan :

a. Penentuan kapasitas adsorpsi (Q)

$$Q = \frac{(C_0 - C_1) \cdot V}{M}$$

Keterangan :

Q = kapasitas adsorpsi ($\mu\text{g/g}$ adsorben)

C_0 = konsentrasi zat warna mula – mula

C_1 = konsentrasi zat warna setelah adsorpsi

V = volume larutan (mL)

M = massa adsorben maksimum (g)

b. Penentuan parameter Freundlich dan Langmuir

Parameter Freundlich ditentukan dengan membuat kurva $\log q_{eq}$ vs $\log C_e$

Parameter Langmuir ditentukan dengan membuat kurva $\frac{C_e}{q_{eq}}$ vs C_e

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembuatan Arang Aktif

Pembuatan arang aktif yang berasal dari sabut Pinang menghasilkan arang dari proses karbonisasi dan aktivasi. Dari proses karbonisasi dihasilkan arang sabut Pinang menggunakan suhu 300°C selama 45 menit.

Hasil arang yang dihasilkan dari sabut Pinang sendiri adalah hanya sekitar 24% dari sampel, yang mana dari 25 gram sampel hanya menghasilkan 6 gram sampel setelah diarangkan.

Suhu mempengaruhi hasil arang yang diperoleh, karena semakin tinggi suhu arang yang diperoleh makin berkurang, karena adanya arang yang telah terbentuk berubah menjadi abu, tapi hasil cairan dan gas semakin meningkat, oleh sebab itu suhu yang digunakan pun harus sesuai dengan sampel yang ingin diteliti.

Untuk meningkatkan daya serap dilakukan proses aktivasi yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu memperbesar pori-pori adsorben dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan yang mengakibatkan arang mengalami perubahan sifat,

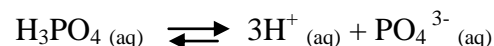
baik sifat fisika maupun sifat kimia, sehingga luas permukaan adsorben bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi [15].

Proses aktivasi menggunakan bahan kimia anorganik yang ditambahkan pada bahan baku untuk menurunkan atau menghilangkan senyawa organik selama karbonasi atau kalsinasi.

Pada penelitian ini dilakukan proses aktivasi secara kimia dengan cara merendam arang hasil karbonisasi yang telah dihaluskan ke dalam larutan H_3PO_4 10%.

Semakin tinggi konsentrasi larutan aktivator maka semakin besar pengaruh larutan tersebut dalam mengikat senyawa-senyawa sisa karbonisasi untuk keluar melewati mikro pori-pori dari karbon sehingga permukaan karbon menjadi lebih porous yang mengakibatkan semakin besar daya adsorpsi karbon aktif tersebut.

Berikut adalah reaksi yang terjadi pada aktivator ketika dilarutkan dengan arang di dalam larutan:



Zat – zat yang tidak mudah menguap seperti ion – ion alkali dan alkali tanah yang masih tertinggal di permukaan arang akan didorong oleh ion H^+ pada saat proses aktivasi berlangsung. Tingginya konsentrasi ion H^+ akan menggantikan posisi ion – ion alkali dan alkali tanah yang berikatan pada permukaan arang.

Hal ini menyebabkan ion – ion alkali dan alkali tanah terdorong keluar dari arang dan terbentuk ikatan karbon dengan H^+ pada permukaan arang aktif.

Pada penelitian ini perendaman dengan aktivator H_3PO_4 dilakukan selama 24 jam. Waktu perendaman merupakan salah satu faktor yang akan mempengaruhi proses aktivasi, dimana perendaman ini bertujuan agar mampu menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin [16].

Proses perendaman dengan H_3PO_4 juga bertujuan untuk melarutkan senyawa – senyawa organik yang terdapat didalam arang sehingga pori – pori pada permukaan arang dapat terbuka, akibatnya daya serap yang dimiliki oleh arang aktif menjadi lebih besar.

Setelah 24 jam proses perendaman, terlihat perubahan warna dari arang yang tidak terlalu hitam menjadi hitam pekat. Selanjutnya, arang disaring dengan kertas saring agar residu atau sisa

aktivator tadi hilang, selanjutnya dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven dengan suhu 150°C selama 45 menit. Tahap pengeringan ini dilakukan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada residu, sehingga hasil yang didapat hanya arang yang telah diaktifkan saja.

Karakterisasi Arang Aktif Sabut Pinang (AASP) Untuk mengetahui kualitas dari AASP dilakukan proses karakterisasi yang meliputi penentuan kadar air dan kadar abu. Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari arang aktif.

Hasil penentuan kadar air dan kadar abu dari AASP dibandingkan dengan data SNI 06-3730-1995 untuk arang aktif dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kadar Air dan Kadar Abu AASP

Parameter	SNI 06-3730-1995	AASP hasil sintesis
Kadar Air	≤ 15 %	9,5 %
Kadar Abu	≤ 10 %	5,5 %

Berdasarkan tabel 1 kadar air hasil penelitian ini yaitu 9,5% dan telah memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 15% untuk arang aktif yang berbentuk serbuk.

Besarnya kadar air dari arang yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap daya serap arang aktif, jika kadar air yang diperoleh besar maka daya adsorpsi akan menurun sebab pori – pori permukaan arang aktif ditutupi oleh molekul air dan sebaliknya jika kadar air kecil maka daya adsorpsi akan meningkat [17].

Penetapan kadar abu dari arang dilakukan untuk mengetahui besarnya kandungan mineral yang terdapat dalam arang aktif. Semakin tinggi kadar abu maka akan semakin banyak senyawa anorganik yang akan menutupi pori-pori arang aktif sehingga dapat menyebabkan menurunnya daya serap arang aktif [18].

Berdasarkan data pada tabel 1 bahwa kadar abu arang aktif sabut pinang telah memenuhi standar SNI dan dapat digunakan sebagai adsorben.

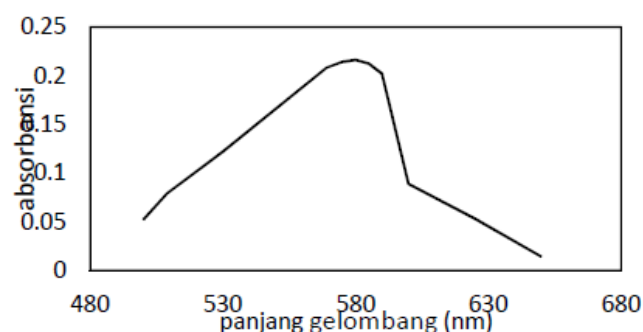
2. Penentuan Panjang Gelombang Optimum

(λ) Zat Warna *Indigosol Blue 04-B*

Penentuan panjang gelombang optimum pada larutan zat warna *indigosol Blue 04-B*, dilakukan untuk memperoleh panjang gelombang

yang akan digunakan dalam menentukan absorbansi dari larutan zat warna tersebut.

Diketahui bahwa pada panjang gelombang optimum akan terjadi absorbansi atau daya serap maksimum sehingga jika digunakan larutan yang encer atau konsentrasi kecil pun hasilnya akan tetap terdeteksi. Berikut kurvanya bisa dilihat pada gambar 1



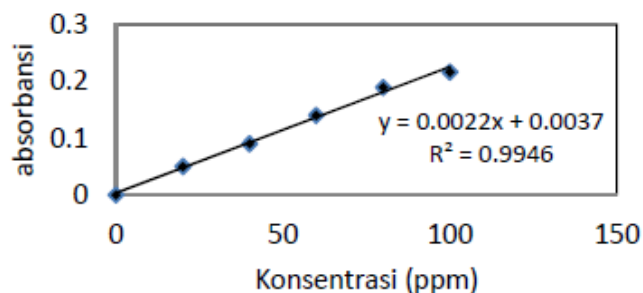
Gambar 1 Kurva Penentuan Panjang Gelombang Optimum Pada Larutan Zat Warna *Indigosol Blue 04-B*

Dari gambar 1 terlihat bahwa panjang gelombang optimum untuk *Indigosol Blue 04-B* yaitu 580 nm. Penggunaan rentang panjang gelombang 500-650 ini dikarenakan warna komplementer dari larutan warna *Indigosol Blue 04-B* adalah warna biru yang mempunyai spektrum cahaya pada panjang gelombang daerah sinar tampak antara rentang panjang gelombang 500-650 nm, sehingga untuk penentuan panjang gelombang optimumnya digunakan rentang pada daerah panjang gelombang tersebut.

Panjang gelombang optimum ini yang akan digunakan pada pengukuran absorbansi selanjutnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

3. Pembuatan Kurva Standar Larutan Zat Warna *Indigosol Blue 04-B*

Dalam pembuatan kurva kalibrasi menggunakan variasi konsentrasi besar dan kecil yang diukur menggunakan panjang gelombang optimum. Panjang gelombang optimum untuk larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B* adalah 580 nm.



Gambar 2 Kurva kalibrasi larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B*

Dari gambar 2 terlihat kurva kalibrasi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B* dengan berbagai konsentrasi.

Larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B* memiliki harga koefisien korelasi (R^2) dalam rentang $0,9 < R^2 < 1$, di mana untuk memenuhi syarat kurva standar harus memiliki harga koefisien korelasi dalam rentang $0,9 < R^2 < 1$.

Kurva kalibrasi antara konsentrasi dengan absorbansi larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B* menunjukkan hubungan korelasi yang bagus karena mendekati 1 dan garis linear dengan gradien positif, sehingga persamaan regresi yang diperoleh dapat digunakan dalam penentuan konsentrasi larutan zat warna pada tahap penentuan kondisi optimum dan aktivitas adsorpsi berikutnya.

4 Karakterisasi adsorben

Analisis Hasil Brunauer–Emmet–Teller (BET) Karbon aktif hasil sintesis dari arang sabut Pinang dikarakterisasi dengan menggunakan Quantachrome Nova 1200e dengan metode Brunauer–Emmet–Teller (BET) untuk mengetahui ukuran pori dalam skala mikro atau meso.

Volume pori tersebut dapat diukur dengan hasil kurva isoterm dengan menggunakan perhitungan dengan BET yang berkaitan dengan adsorpsi dan desorpsi dari mesopori yang terbuka. Selain itu karakterisasi menggunakan BET juga untuk mengetahui luas permukaan dari arang hasil sintesis.

Besarnya luas permukaan yang dihasilkan dari karakterisasi arang aktif sabut Pinang yang telah diaktivasi adalah sebesar $41,101 \text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan luas permukaan arang aktif yang belum diaktivasi adalah $22,112 \text{ m}^2/\text{g}$. sehingga dapat disimpulkan bahwa proses aktivasi karbon aktif dengan menggunakan aktivator H_3PO_4

menyebabkan terjadinya peningkatan luas permukaan karbon aktif yang mengakibatkan zat warna yang terserap semakin banyak.

Berdasarkan dari hasil pengujian BET menunjukkan bahwa perbedaan luas permukaan arang yang cukup signifikan antara arang sabut Pinang yang belum diaktivasi dan yang sudah diaktivasi, yang mana dihasilkan bahwa luas permukaan arang aktif yang sudah diaktivasi menjadi lebih besar dari pada luas permukaan yang dihasilkan oleh arang yang belum diaktivasi, hal ini secara langsung mengakibatkan bidang sentuh antara adsorben yang telah diaktivasi dengan adsorbat semakin besar.

Semakin luas permukaan adsorben juga akan menyebabkan porositas dari adsorben meningkat sehingga akan semakin banyak molekul adsorbat yang terjepit pada permukaan adsorben yang memiliki porositas tersebut.

Porositas berperan sebagai tempat melekatnya molekul adsorbat yang terjepit oleh adsorben [19].

5. Adsorpsi *Indigosol Blue 04-B* Oleh Arang Aktif Sabut Pinang

Pada proses adsorpsi *Indigosol Blue 04-B* dilakukan dengan melibatkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil adsorpsi. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan hasil adsorpsi yang diperoleh menjadi optimal. Faktor tersebut yaitu pH, waktu kontak, dan berat adsorben.

5.1. pH Optimum

Pengukuran pH optimum akan memberikan gambaran muatan yang ada dipermukaan arang aktif. pH termasuk salah satu faktor dari adsorpsi.

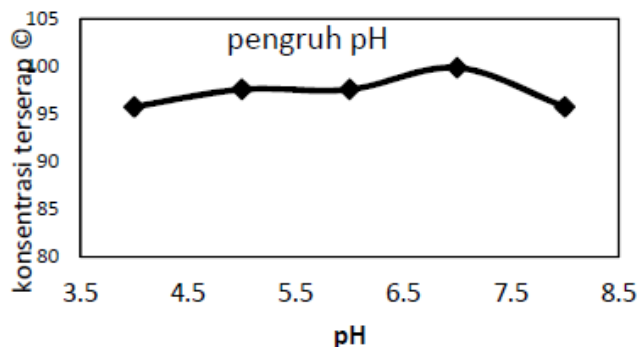
Penentuan pH optimum perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi yang baik dalam penyerapan zat warna oleh adsorben.

Dengan mengetahui hal tersebut maka apabila pH yang digunakan lebih besar atau lebih kecil dari pH optimum akan menurunkan efisiensi adsorpsinya.

Data hasil penentuan pH optimum dapat dilihat pada Gambar 3

Dari Gambar 3 diperoleh bahwa pH optimum berada pada titik yang paling tinggi yaitu pada pH 7 dengan konsentrasi terserap 99,87 ppm untuk larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B*.

Dimulai dari pH rendah (suasana asam), bahwa semakin besar pH jumlah larutan zat warna yang terserap semakin tinggi namun ketika larutan zat warna berada pada pH yang sudah melewati pH optimum (suasana basa) jumlah larutan zat warna yang terserap menjadi menurun.

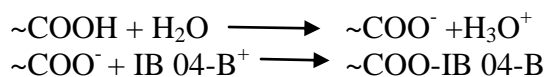


Gambar 3. Kurva Hubungan Antara pH Dengan Konsentrasi Terserap Pada Arang Aktif Sabut Pinang

Pada umumnya, adsorpsi bahan organik dari air limbah meningkat seiring dengan menurunnya pH [20]. Pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih besar, dimana ion H^+ tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi [21].

Oleh sebab itulah pada penelitian ini pH optimum yang didapat pada keadaan netral. Oleh karena itu, pada pH 4-6 diprediksi bahwa gugus OH yang berperan dalam proses adsorpsi *Indigosol Blue* 04-B melalui interaksi van der Waals dan juga dapat melalui ikatan hidrogen antara atom H pada gugus OH biosorben dengan atom N pada *Indigosol Blue* 04-B.

Pada pH 7 permukaan biosorben mengalami deprotonasi sehingga semakin banyak gugus karboksil yang terbentuk dan berikatan dengan ion *Indigosol Blue* 04-B ($IB\ 04B^+$).



Pada pH lebih besar dari 7 akan terjadi penurunan adsorpsi dengan bertambahnya basa (OH^-). Hal ini disebabkan oleh bertambahnya OH^- yang dapat mengganggu proses adsorpsi sehingga terjadi persaingan adsorpsi antara gugus $-COO^-$

pada permukaan biosorben dengan OH^- untuk berikatan dengan ion $IB\ 04-B^+$ [22]

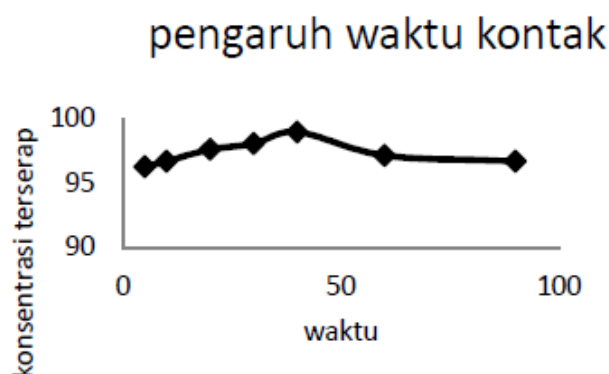
Dari kurva yang diperoleh menunjukkan pengaruh variasi pH terhadap proses adsorpsi tidak terlalu signifikan. Pada setiap hasil pengukuran kapasitas adsorpsi dari pH 4 sampai pH optimum 7 terlalu besar.

5.2. Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak optimum perlu dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu kontak optimum yang dibutuhkan adsorben untuk menyerap adsorbat. Waktu kontak termasuk salah satu faktor dari adsorpsi. Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan arang aktif untuk mengadsorpsi zat warna secara optimal.

Penentuan waktu kontak dilakukan dengan mengatur pH zat warna terlebih dahulu sesuai dengan pH optimum yang telah dicari.

Dari hasil pengukuran dan perhitungan dapat diketahui waktu kontak optimum untuk adsorpsi larutan zat warna *Indigosol Blue* 04-B menggunakan adsorben arang aktif dari sabut Pinang pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Hubungan Antara Waktu Kontak Dengan Konsentrasi Terserap Pada Arang Aktif Sabut Pinang

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa arang aktif sabut Pinang memiliki waktu kontak optimum terhadap larutan zat warna 40 menit dengan jumlah larutan zat warna *indigosol Blue* 04-B yang teradsorpsi paling besar oleh arang aktif sabut Pinang yaitu 98,96 mg/g, selain itu grafik diatas juga menunjukkan setelah mencapai titik optimum, jumlah zat warna yang teradsorpsi semakin menurun.

Hal ini dikarenakan sisi aktif yang tersedia menjadi berkurang karena larutan zat warna

membentuk suatu lapisan di permukaan adsorben yang menutupi lapisan adsorben, sehingga daya adsorpsi menjadi berkurang, walaupun penurunan yang terjadi tidak terlalu besar, hal ini telah menunjukkan bahwa adsorben yang mengadsorpsi larutan warna telah mengalami desorpsi yaitu pelepasan kembali ion yang telah teradsorpsi karena mengalami kejenuhan.

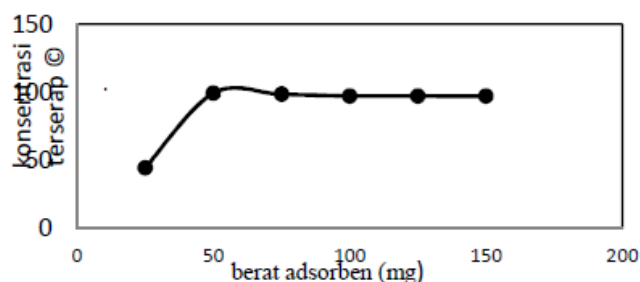
Gambar tersebut juga menunjukkan kurva waktu kontak optimum arang aktif sabut Pinang terhadap larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B* yang berada pada waktu kontak optimum 40 menit memiliki konsentrasi terserap sebesar 98,96 ppm.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada waktu kontak optimum 40 menit proses adsorpsi yang terjadi antara arang aktif dan larutan warna telah mencapai suatu kesetimbangan, sehingga bila diberi tambahan waktu kapasitas adsorpsinya akan menurun.

5.3. Berat Adsorben Optimum

Penentuan berat adsorben perlu dilakukan untuk mengetahui apakah dengan penambahan berat akan meningkatkan daya serap dari adsorben terhadap zat warna.

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh berat adsorben optimum yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut



Gambar 5. Kurva Hubungan Antara Berat Adsorben Dengan Konsentrasi Terserap Pada Arang Aktif Sabut Pinang

Gambar 5 menunjukkan bahwa arang aktif sabut Pinang memiliki berat adsorben optimum sebesar 50 mg dengan jumlah larutan zat warna yang teradsorpsi sebesar 99,41 mg/g dan pada berat adsorben 75-150 mg terjadi penurunan daya serap.

Jumlah larutan zat warna teradsorpsi tertinggi pada saat berat adsorben optimum mengalami daya adsorpsi maksimal yang menandakan bahwa terdapat sisi aktif adsorben

yang telah maksimal menyerap larutan zat warna, ketika berat adsorben melebihi berat optimum maka akan banyak sisi aktif yang tidak jenuh pada permukaan adsorben.

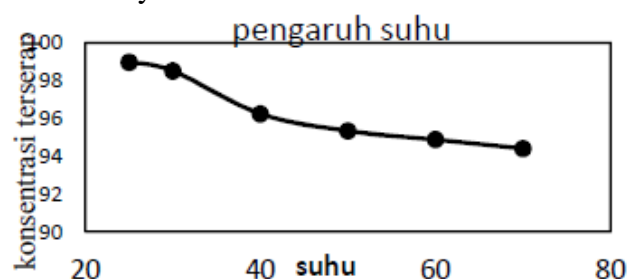
Hal ini akan menyebabkan terbentuknya gumpalan-gumpalan yang akan menyebabkan berkurangnya luas permukaan pada adsorben. Berkurangnya luas permukaan adsorben ini menyebabkan kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat menjadi berkurang yang mengakibatkan daya adsorpsi adsorben menurun.

Dari ke empat hasil uji yang telah dilakukan dapat diketahui sebesar apa pengaruh yang diberikan terhadap adsorpsi oleh sabut Pinang mulai dari pH optimum sampai berat adsorben optimum yang digunakan.

5.4. Pengaruh Variasi Suhu Adsorpsi

Variasi suhu adsorpsi dilakukan untuk mengetahui apakah dengan peningkatan suhu yang dilakukan akan meningkatkan daya serap dari adsorben terhadap zat warna.

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan dapat diketahui pengaruh dari variasi suhu pada proses adsorpsi yang dilakukan. Pengaruh dari variasi suhu tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan bahwa konsentrasi terserap semakin menurun seiring meningkatnya suhu atau bahwa suhu berbanding terbalik terhadap konsentrasi terserap, di mana konsentrasi terserap semakin berkurang seiring bertambahnya suhu.



Gambar 6. Kurva Hubungan Antara Suhu Dengan Konsentrasi Terserap Pada Arang Aktif Sabut Pinang

Jika temperatur semakin meningkat akan menyebabkan terjadinya peningkatan proses desorpsi, sehingga terjadi penurunan jumlah adsorpsi. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini didukung oleh Aisyahlika dkk [23] yang menyatakan bahwa pada adsorpsi fisik, adsorpsi

semakin menurun dengan meningkatnya temperatur.

Hal ini terjadi karena gerak temperatur tinggi menyebabkan energi gerak antar partikel larutan semakin besar membuat partikel larutan yang telah menempel di arang aktif menjadi lepas kembali.

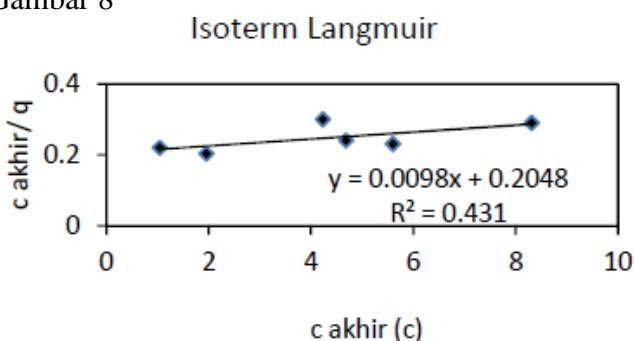
5.5. Isoterm Adsorpsi

Variasi konsentrasi dibuat mulai dari 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 ppm yang diperlakukan pada pH optimum dan waktu kontak optimum. Isoterm yaitu hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat pada fase padat dengan konsentrasi dalam fase cair.

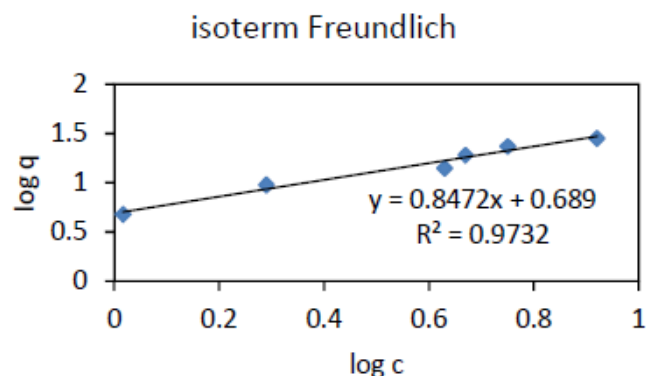
Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui proses penyerapan yang terjadi antara arang aktif dengan adsorbat yaitu *Indigosol Blue 04-B*.

Dalam menentukan jenis isoterm dapat digunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich untuk menentukan pola adsorpsi *Indigosol Blue 04-B* pada permukaan arang aktif. Persamaan isoterm Langmuir dibuat grafik antara C/Q vs C . Grafik antara $\log Q$ vs $\log C$ dibuat mengikuti persamaan isoterm Freundlich.

Dari hasil pengolahan data kedua isoterm maka dapat diperoleh kurva perbandingan antara isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich untuk adsorben dari arang aktif sabut Pinang sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8



Gambar 7. Isoterm Langmuir Adsorben Arang Aktif Sabut Pinang



Gambar 8. Isoterm Freundlich Adsorben Arang Aktif Sabut Pinang

Dari Gambar 7 dan 8 menunjukkan kurva yang menggambarkan isoterm adsorpsi dari arang aktif sabut Pinang terhadap larutan zat warna *Indigosol Blue 04-B*.

Model isoterm yang sesuai dengan data hasil penelitian diuji dengan analisis regresi linear sederhana dengan melihat data nilai koefisien korelasinya (R^2) yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar peranan variabel-variabel yang digunakan.

Jika harga R^2 semakin mendekati 1 maka dapat dikatakan bahwa terjadi pengaruh yang semakin besar dan menunjukkan bahwa pengaruh antar variabel semakin bagus.

Berdasarkan data pada gambar menunjukkan bahwa karakteristik adsorpsi dari adsorben sabut Pinang mengarah ke isoterm Freundlich, karena koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh lebih besar pada isoterm Freundlich dan juga lebih mendekati 1 jika dibandingkan dengan koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh pada isoterm Langmuir.

Persamaan garis linear yang diperoleh melalui pembuatan kurva isoterm Langmuir digunakan untuk menentukan parameter Langmuir, K_L dan Q (mg/g) adsorben masing-masing larutan zat warna.

Dari hasil analisis diperoleh data parameter Langmuir pada adsorben arang aktif sabut Pinang sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Langmuir Adsorpsi *Indigosol Blue 04-B* Pada Arang Aktif

Zat warna	Parameter Langmuir	Adsorben sabut Pinang
<i>Indigosol Blue 04-B</i>	K_L	0,002
	Q_{max}	102,04
	R^2	0,431

Keterangan: KL = parameter Langmuir, Q_{max} = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g), dan R^2 = koefisien korelasi.

Pada tabel 2 dapat dilihat nilai parameter dari isoterm Langmuir dengan nilai KL sebesar 0,002 dan nilai Q_{max} sebesar 102,04 mg/g, hal ini menunjukkan bahwa adsorben sabut Pinang memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup besar sehingga dapat digunakan untuk menyerap zat warna *Indigosol Blue* 04-B dengan baik.

Persamaan garis linear diperoleh dari kurva isoterm Freundlich digunakan untuk menentukan parameter Freundlich, KF dan n yang merupakan tetapan Freundlich.

Dari hasil analisis diperoleh data parameter Freundlich pada adsorben sabut Pinang sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter Freundlich Adsorpsi *Indigosol Blue* 04-B Pada Arang Aktif

zat warna	pH	C (ppm)			Efisiensi (%)	q (mg/g)
		awal	akhir	terserap		
<i>Ind. Blue</i> 04-B	7	100	1,04	98,96	98,96	19,8

Keterangan: KF dan n = parameter Freundlich, dan R^2 = koefisien korelasi.

Model isoterm Langmuir dan Freundlich dapat digunakan untuk menentukan pola adsorpsi *Indigosol Blue* 04-B pada permukaan arang aktif.

Dilihat dari nilai koefisien korelasi (R^2), maka dapat disimpulkan bahwa isoterm adsorpsi untuk arang aktif pada penelitian ini adalah isoterm Freundlich, hal ini dikarenakan nilai koefisien (R^2) yang dihasilkan pada isoterm Freundlich lebih besar dibandingkan nilai koefisien (R^2) pada isoterm Langmuir.

Nilai parameter Freundlich (KF dan n) dapat ditentukan dari persamaan linier isoterm Freundlich.

Parameter Freundlich, KF menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben. Semakin besar harga KF maka kapasitas adsorpsinya semakin besar. Bila ditinjau dari harga n yang bernilai 1,18 pada arang aktif sabut Pinang dapat dikatakan sebagai proses adsorpsi yang *favorable*.

Harga konstanta antara 1 sampai 10 menunjukkan proses adsorpsi bersifat *favorable*.

Ini menandakan hasil yang diperoleh bahwa adsorpsi yang terjadi adalah secara fisisorpsi multilayer. Fisisorpsi multilayer ini merupakan proses adsorpsi yang terdiri dari banyak lapisan, sehingga kemampuan adsorpsi sebagai adsorben pun menjadi lebih baik untuk digunakan.

Pendekatan Freundlich mengasumsikan permukaan adsorben bersifat heterogen, adsorpsi membentuk banyak lapisan dan terdapat tapak aktif adsorpsi yang memiliki afinitas tinggi sementara afinitas bagian lainnya rendah. Hal ini memungkinkan adsorbat leluasa bergerak hingga berlangsung proses adsorpsi banyak lapisan.

4.9 Aplikasi Adsorben Pada Zat Warna

Zat warna yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat warna *Indigosol Blue* 04-B pada pembuatan batik. Untuk analisis zat warna *Indigosol Blue* 04-B dilakukan dengan proses adsorpsi pada kondisi optimum yaitu pH, waktu kontak dan berat adsorben.

Untuk penyerapan zat warna *Indigosol Blue* 04-B pada pH 7 dan waktu kontak 40 menit dengan berat adsorben 50 mg. Data hasil adsorpsi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data adsorpsi AASP pada zat warna *Indigosol Blue* 04-B.

Zat warna	Parameter Freundlich	Adsorben sabut Pinang (AASP)
<i>Indigosol Blue</i> 04-B	KF	4,88
	N	1,18
	R^2	0,9732

Dari Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa adsorpsi AASP terhadap *Indigosol Blue* 04-B menghasilkan daya serap sebesar 19,8 mg/g.

Berdasarkan nilai kapasitas adsorpsi yang diperoleh dalam penelitian ini, adsorben dari arang aktif sabut pinang terbukti akan dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna *Indigosol Blue* 04-B

KESIMPULAN

1. Arang aktif yang dibuat dari sabut pinang dapat digunakan sebagai adsorben zat warna *Indigosol Blue* 04-B memiliki luas permukaan sebesar 41,101 m²/g.

2. Peningkatan pH dapat meningkatkan jumlah larutan zat warna yang terserap semakin tinggi yaitu pada pH 7.
3. Waktu kontak optimum adsorpsi zat warna *Indigosol Blue* 04-B dengan menggunakan arang aktif dari sabut pinang terjadi pada waktu kontak 40 menit. Sedangkan berat adsorben optimum sebesar 50 mg dan Suhu optimum diperoleh sebesar 25°C.
4. Kapasitas atau kemampuan adsorpsi oleh arang aktif sabut Pinang sebagai adsorben zat warna *Indigosol Blue* 04-B memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 19,8 mg/g.

SARAN

1. Dalam proses pengarangan (karbonisasi) perlu menggunakan wadah bahan yang datar agar dapat membuat proses pengarangan merata ke semua bahan yang akan dijadikan arang.
2. Sabut pinang yang digunakan sebaiknya yang sudah tua, agar waktu yang digunakan dalam proses pembuatan arang aktif lebih efektif.
3. Untuk menentukan pengaruh pH yang lebih signifikan sebaiknya pH yang digunakan dimulai dari pH yang paling rendah (asam kuat).
4. Untuk menentukan pengaruh waktu kontak yang lebih signifikan dalam proses adsorpsi sebaiknya pengukuran dimulai dari waktu 1 menit, 2 menit, 3 menit sampai 7 menit, sehingga pengaruh dari waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat lebih terlihat jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jannah, F., Arya Rezagama dan Fajar Arianto, Pengolahan Zat Warna Turunan Azo Dengan Metode Fenton ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$) Dan Ozonasi (O_3), *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2017, 6(3) 1-11
- [2] Pujilestari, T., Review : Sumber Dan Pemanfaatan Zat Warna Alam Untuk Keperluan Industri, *Dinamika Kerajinan dan Batik*, 2015, 32 (2): 93-106
- [3] Zikrina Hanifah Herfiani, Arya Rezagama dan Muhammad Nur, Pengolahan Limbah Cair Zat Warna Jenis *Indigosol Blue* (C.I VAT Blue 4) Sebagai Hasil Produksi Kain Batik Menggunakan Metode Ozonasi Dan Adsorpsi Arang Aktif Batok Kelapa Terhadap Parameter COD Dan Warna, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2017, 6 (3): 1-10.
- [4] Enrico, Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan Dan Aplikasi Teknik ECO Printing Sebagai Usaha Mengurangi Limbah, *Moda*, 2019, 1(1): 5-13.
- [5] Sidik, H., Neneng Konety dan Savitri Aditany, Membangkitkan Semangat Peduli Lingkungan Melalui Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Rumah Tangga Di Rancaekek, *Kumawula*, 2018, 1(1): 62 – 74
- [6] Rusydi, A.F., Dadan Suherman, dan Nyoman Sumawijaya, Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi – Flokulasi Dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi, Studi Kasus: Banaran, Sukoharjo dan Lawean, Kerto Suro, Jawa Tengah, *Arena Tekstil*, 2016, 31 (2): 105-114
- [7] Sari, M., Optimalisasi Daya Koagulasi Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Pada Limbah Cair Industri Tahu, *Agritepa*, 2017, 4(1): 25-37.
- [8] Sausan, F.W., Ainun Rahma Puspitasari dan Dian Yanuarita P, Studi Literatur Pengolahan Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Proses Adsorpsi, Filtrasi, dan Elektrolisis, *Tecnoscienza*, 2021, 5 (2): 213-230
- [9] Setiyanto, Indah Riwayati dan Laeli Kurniasari, Adsorpsi Pewarna Tekstil *Rodhamin B* Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi, *Momentum*, 2015, 11 (1): 24-28
- [10] W. P. Utomo, W.P., E. Santoso, G. Yuhaneke, A. I. Triantini, M. R. Fatqi, M. F. Huda dan N. Nurfitri, Studi Adsorpsi Zat Warna Naphthol Yellow S Pada Limbah Cair Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu, *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 2019, 13 (1):

- 104 - 116
- [11] Wijayanti, H., Karbon Aktif Dari Sekam Padi : Pembuatan Dan Kapasitasnya Untuk Adsorpsi Larutan Asam Asetat, *Info – Teknik*, 2009, 10(1): 61-67.
- [12] Pambayun, G.S., Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoellah dan Endah M.M. Putri, Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator ZnCl_2 Dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah, *Jurnal Teknik Pomits*, 2013, 2 (1): 116-120.
- [13] Sitanggang, T., Anis Shofiyani dan Intan Syahbanu, Karakterisasi Adsorpsi Pb(II) Pada Karbon Aktif Dari Sabut Pinang (*Areca catechu* L) Teraktivasi H_2SO_4 , *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 2017, 6(4) : 49-55.
- [14] Rahayu, W., Agus Cahyana dan Teten Rohandi, Eksplorasi Dan Aplikasi Pigmen Warna Alami Tumbuhan Pada Lukisan, *Jurnal Atrat*, 2017, 5(1): 36-45
- [15] Rohmah P.M., dan Athiek Sri Redjeki, Pengaruh Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Sekam Padi Dengan Aktivator KOH, *Konversi*, 2014, (1): 19-27
- [16] Fajrianti, H., Wiharyanto Oktawan dan Irawan Wisnu Wardhana, Pengaruh Waktu Perendaman Dalam Aktivator NaOH Dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Krom Total (Cr) Dan Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Elektroplating Dengan Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2016, 5 (1): 1-9.
- [17] Verayana, Mardjan Paputungan dan Hendri Iyabu, Pengaruh Aktivator HCl dan H_3PO_4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb), *Jurnal Entropi*, 2018, 13 (1): 67-75
- [18] Laos, L.E., dan Arkilaus Selan, Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif, *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 2016, 1(1): 32-36
- [19] Lubis, R.A.F., Hafni Indriati Nasution dan Moondra Zubir, Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification, *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST-Unimed)*, 2020, 3(2): 67-73
- [20] Setyaningrum, N.E., Bimo Budi Santoso dan Bertha Mangallo, Studi adsorpsi limbah organik industri tahu tempe dengan karbon aktif kayu merbau [*Intsia bijuga* (Colebr) O. Kuntze], *Cassowary*, 2019, 2 (1): 86 - 101
- [21] Wijaya, V.C., dan Ita Ulfin, Pengaruh pH pada Adsorpsi Ion Cd^{2+} dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (*Samanea saman*), *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 2015 : 4(2): 86-89
- [22] Irawati, H., Nurul Hidayat Aprilita, dan Eko Sugiharto, Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet Menggunakan Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) *Berkala MIPA*, 2018, 25(1): 17-31.
- [23] Aisyahlika, S.Z., M. Lutfi Firdaus, Rina Elvia., Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (*Cerbera odollam*) Terhadap Zat Warna Sintetis *Reactive Red -120* Dan *Reactive Blue-198*, *Alotrop*, 2018: 2(2): 148-155.

Penulisan sitasi artikel ini adalah
Fitriansyah, A., Hermansyah Amir dan Elvinawati
, Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Dari
Sabut Pinang (*Areca catechu*) Terhadap
Kapasitas Adsorpsi Zat Warna *Indigosol Blue*
04-B , Alotrop , 2021: 5(1):