



Artikel Penelitian

## Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Karbon Aktif Teraktivasi NaCl Sebagai Adsorben Untuk Menjerap Logam Cr(VI)

Zahra Nur Fauziah<sup>1</sup>, Muhammad Fathurrahman<sup>1\*</sup>, Linda J Kusumawardani<sup>1</sup>, Leny Heliawati<sup>1</sup><sup>1</sup>Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia, 16143.**INFO ARTIKEL****ABSTRAK****Riwayat Artikel**

Diterima 26 Januari 2024

Direvisi 20 Maret 2024

Tersedia online 31 Oktober 2024

\* Email (penulis korespondensi):  
fathur110590@unpak.ac.id

DOI: 10.18860/al.v12i2.25825

This study aims to synthesize carbon active from rice husk carbon activated with NaCl and find the optimum condition for the adsorption of ion Cr(VI). This research was carried out through a synthesis stage of powdered rice husk was carbonized at a temperature of 500 °C for 2 hours and then activated using 5% NaCl. Characterization of rice husk-activated carbon was then carried out using FTIR, SEM, and BET. Using the MINITAB software's Box Behnken Design Response Surface Methodology (RSM), the optimization experiment was obtained. Three optimization parameters were examined: the weight of the rice husk-activated carbon, the contact time, and the pH. Then, the maximum adsorption efficiency obtained was evaluated using the Langmuir and Freundlich isotherm equation model. The research result showed that the surface area of rice husk activated carbon was 236,883 m<sup>2</sup>/g and an adsorption process resulting in a Cr(VI) adsorption efficiency of 99,99% was earned with the following optimum parameters: a pH of 2,13, a contact time of 59,77 minutes, and a weight of 0,7531 grams of rice husk-activated carbon in 50 mL aqueous solution of 10 mg/L Cr(VI). Adsorption of Cr(VI) by rice husk-activated carbon followed the Langmuir isotherm equation.

Keywords: Activated Carbon; Box Behnken; Cr(VI); Rice Husk

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis karbon aktif dari sekam padi yang diaktivasi dengan NaCl serta menentukan kondisi optimum adsorpsi ion logam Cr(VI). Penelitian ini dilakukan melewati tahap sintesis berupa serbuk sekam padi berukuran 60 mesh yang dikarbonisasi pada suhu 500 °C selama 2 jam dan selanjutnya diaktivasi menggunakan NaCl 5%. Karakterisasi karbon aktif sekam padi kemudian dilakukan menggunakan FTIR, SEM dan BET. Optimasi dilakukan menggunakan model rancangan Response Surface Methodology (RSM) desain Box Behnken terhadap 3 variabel bebas yaitu pH, bobot adsorben, dan waktu kontak. Efisiensi adsorpsi maksimum yang didapatkan kemudian dievaluasi menggunakan persamaan isotherm Langmuir dan Freundlich. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif berhasil disintesis dan memiliki luas permukaan sebesar 236,884 m<sup>2</sup>/g. Kondisi optimum untuk proses adsorpsi adalah pada pH 2,13, bobot adsorben 0,7531 gram, serta waktu kontak 59,77 menit pada 50 mL larutan Cr(VI) 10 mg/L dan menghasilkan efisiensi adsorpsi 99,99%. Adsorpsi Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi teraktivasi NaCl mengikuti persamaan Langmuir.

Kata kunci: *Box Behnken*; Cr(VI); Karbon Aktif; Sekam Padi

## 1. Pendahuluan

Kromium, dengan simbol Cr, merupakan sebuah unsur logam berat yang seringkali terdeteksi sebagai polutan yang berasal dari kegiatan industri, termasuk namun tidak terbatas pada produksi baja, industri tekstil, dan proses penyamakan kulit. Bentuk kromium sendiri terbagi menjadi Cr(III) yang secara ditemukan secara alami di alam dan Cr(VI) yang umumnya berasal dari proses industri. Cr(VI) memiliki sifat toksik dan karsinogenik. Apabila Cr(VI) sudah mencemari badan air dan terpapar atau dikonsumsi menyebabkan iritasi pada hidung, mata dan kulit, meningkatkan resiko gangguan hati, serta ginjal [1]. Besarnya dampak Cr(VI) bagi makhluk hidup, pada tahun 2021 pemerintah menetapkan peraturan pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang baku mutu Cr(VI) pada badan air yaitu sebesar 0,05 mg/L.

Karbon aktif merupakan senyawa berstruktur amorf yang memiliki permukaan yang luas serta memiliki daya serap yang baik terhadap anion, kation, senyawa organik, baik dalam bentuk gas maupun larutan, sehingga karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben dalam mengeliminasi ion Cr(VI). Sintesis karbon aktif terdiri dari dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses pirolisis atau pembakaran pada suhu 400 – 600 °C, sementara aktivasi merupakan proses yang dapat meminimalisir tar yang terbentuk dari karbon [3]. Aktivasi sendiri terdapat 2 cara yaitu fisika dan kimia. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan baku yang memiliki kadar selulosa yang tinggi salah satunya adalah sekam padi. Sekam padi merupakan limbah biomassa yang memiliki kadar selulosa tinggi yaitu sebesar 42,35% [4], selain itu sekam padi memiliki banyak keunggulan, yakni jumlahnya yang tidak terbatas, ketersediaan yang luas dan mudah, serta harga yang ekonomis.

Beberapa penelitian terkait pengolahan limbah yang mengandung logam berat dengan karbon aktif dan adsorben. Azad et al., (2022) melakukan penelitian mengenai adsorpsi Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi teraktivasi ZnCl<sub>2</sub> didapatkan persentase penyerapannya sebesar 97% [5]. Fathurrahman, (2022) melakukan penelitian terhadap adsorpsi Cr(VI) menggunakan adsorben komposit Eugenol-Silica Gel, didapatkan kapasitas adsorpsinya sebesar 1,0328 mg/g [6]. Kusumawardani et al., (2020) melakukan penelitian terhadap adsorpsi Cr(VI) dengan karbon aktif tempurung kelapa teraktivasi CaCl<sub>2</sub>, didapatkan persentase penyerapan Cr(VI) 10 mg/L pada 25 mL larutan sebesar 99,60% dengan konsentrasi akhir yaitu 0,04 mg/L. Adapun beberapa penelitian terkait penggunaan NaCl sebagai aktivator telah dilakukan [7]. Budiastuti, (2019) melakukan penelitian terhadap adsorpsi Logam Pb<sup>2+</sup> menggunakan karbon aktif kulit singkong dengan suhu karbonisasi 500 °C menggunakan aktivator NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> serta ZnCl<sub>2</sub>. Penggunaan aktivator NaCl mampu menurunkan ion Pb<sup>2+</sup> sebesar 99,34% dengan konsentrasi awal 57,4 mg Pb<sup>2+</sup>/L dan konsentrasi akhir yaitu 0,4 mg/L [8].

Penelitian ini melaksanakan proses sintesis karbon aktif berbahan dasar sekam padi, memanfaatkan teknik karbonisasi pada suhu 500°C dan mengimplementasikan tahapan aktivasi dengan NaCl 5% selaku zat pengaktif [8]. NaCl merupakan garam yang memiliki tingkat osmotik yang tinggi dan dapat digunakan sebagai zat dehidrat pada karbon aktif, selain itu NaCl tidak beracun, aman terhadap lingkungan serta harganya relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan aktivator lainnya [9]. Penggunaan aktivator NaCl sendiri jarang diaplikasikan dalam sintesis karbon aktif dari sekam padi sehingga diharapkan karbon aktif yang disintesis mampu mengadsorpsi 50 mL ion logam Cr(VI) 10 mg/L. Pada penelitian ini penentuan kondisi optimum digunakan metode Response Surface Method (RSM) desain Box Behnken dengan tiga variabel yaitu waktu kontak, pH, dan bobot adsorben. Metode ini mampu mengoptimalkan respon dari variabel bebas yang digunakan dengan memodelkan dan menganalisis beberapa variabel tersebut dalam bentuk teknik matematika dan statistik. Pemilihan desain Box Behnken direkomendasikan untuk optimasi tiga variabel karena jumlah eksperimennya lebih sedikit dan efisien [9].

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini sekam padi yang diperoleh dari penggilingan padi di Kabupaten Bogor, NaCl (Merck), K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Merck), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck), 1,5-difenilkarbazida (Merck), Aseton (Merck), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Merck), air bebas mineral, dan kertas saring whatman. alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Spektrofotometer UV – VIS Shimadzu UV-1900i, Tanur Thermo scientific F48010-33, Neraca analitik resolusi 0,1 mg Sartorius, oven, mortar, saringan mesh nomor 60, gelas piala, erlemeyer, corong kaca, pipet volumetrik, cawan porselain, pH meter Horiba Laqua, Fourier Transform Infra-Red (FTIR) dan Scanning Electron Microscope (SEM), dan *Brunauer-Emmett-Teller Surface Area Analyzer* (BET SAA).

### 2.2 Metode

#### 2.2.1 Pembuatan Adsorben Karbon Aktif Sekam Padi

Sekam padi dibersihkan dan dicuci dengan air bebas mineral, kemudian sekam padi dikeringkan dalam oven selama 13 jam dan dihaluskan serta disaring dengan saringan mesh nomor 60. Bubuk sekam padi kemudian dikarbonisasi dengan

tanur pada suhu 500 °C selama 2 jam. Karbon sekam padi kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan NaCl 5% dengan perendaman selama 24 jam. Kemudian karbon aktif dicuci dengan air bebas mineral hingga netral dan bebas Cl<sup>-</sup> dengan cara menambahkan AgNO<sub>3</sub> pada air bilasan. Apabila tidak terdapat endapan putih, maka karbon aktif bebas Cl<sup>-</sup> [7]. Residu yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C. Karbon aktif yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM, dan BET SAA.

### 2.2.2 Penentuan Ion Logam Cr(VI) Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Metode acuan digunakan yaitu metode SNI 6989.71:2009, di mana metode ini didasarkan pada pengukuran serapan larutan berwarna ungu kemerahan yang menunjukkan terjadinya kompleks antara 1,5-difenilkarabazida (C<sub>13</sub>H<sub>14</sub>N<sub>4</sub>O) dan Cr(VI). Tahap awal pengukuran yaitu dengan membuat deret standar Cr(VI) pada konsentrasi 0,1 – 0,5 mg/L dari larutan 500 mg Cr(VI)/L dalam gelas piala 100 mL, kemudian masing masing deret standar ditambahkan 0,25 mL H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, lalu atur pH deret standar masing – masing hingga 2 ± 0,5 menggunakan 0,2 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pindahkan deret standar kedalam labu ukur 100 mL dan tera dengan air bebas mineral, diamkan 5 – 10 menit lalu ukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 530 – 540 nm bersama dengan contoh uji. Plot absorbansi antara konsentrasi standar untuk menghitung konsentrasi Cr(VI) dalam contoh uji.

### 2.2.3 Optimasi Proses Adsorpsi Cr(VI) dengan Karbon Aktif Sekam Padi

Proses optimasi adsorpsi sebelumnya dirancang menggunakan Response Surface Methodology (RSM) desain Box Behnken dengan aplikasi MINITAB. Parameter optimasi yang dilakukan adalah pH pada rentang 2 – 6, waktu kontak pada rentang 10 – 60 menit dan bobot adsorben pada rentang 0,1 – 0,5 gram. Karbon aktif ditambahkan dalam 50 mL larutan Cr(VI) 10 mg/L, campuran diaduk dan dilakukan berdasarkan rancangan percobaan Box Behnken yang kemudian disaring dengan kertas saring Whatman no. 42, filtrat yang dihasilkan kemudian ukur konsentrasi Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 530 – 540 nm.

### 2.2.4 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Data optimasi yang diperoleh dari percobaan menggunakan RSM desain Box Behnken, digunakan dan dievaluasi untuk menentukan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich berdasarkan kapasitas maksimumnya. Penentuan model isoterm adsorpsi dilakukan dengan menambahkan karbon aktif kedalam 50 mL larutan Cr(VI) dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 mg/L, kemudian diaduk pada kondisi pH, waktu kontak, dan bobot adsorben optimum. Campuran kemudian disaring, lalu filtrat yang dihasilkan kemudian diukur menggunakan spektrofotometer di panjang gelombang 530 – 540 nm.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini diperoleh hasil sintesis karbon aktif dengan rendemen 32,68% dengan sifat fisik berwarna hitam, tidak berbau, dan memiliki ukuran partikel 60 mesh. Perubahan warna yang terjadi dari sekam padi menjadi karbon diakibatkan proses karbonisasi pada suhu tinggi yang menyebabkan terdekomposisi atau terurainya senyawa selulosa organik menjadi unsur karbon dan menghilangkan senyawa selain karbon [10]. Karbon sekam padi kemudian diaktivasi dengan NaCl 5%. Aktivator ini membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi serta berfungsi untuk mengdehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon dan sehingga rongga-rongga karbon semakin membesar [8].

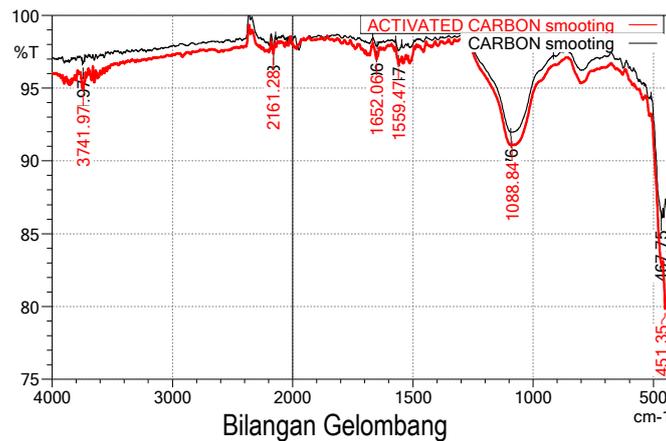
### 3.1 Karakterisasi Karbon Aktif Sekam Padi

Karbon dan karbon aktif yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan Fourier Transform Infra-Red (FTIR) untuk analisis kualitatif gugus fungsi, kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk analisis struktur pori-pori para permukaan, serta dilakukan pengujian luas permukaan karbon dan karbon aktif menggunakan Brunauer-Emmett-Teller (BET).

#### 3.1.1 Karakterisasi dengan FTIR

Berdasarkan hasil Spektrum IR pada Gambar 1, terjadi peningkatan intensitas karbon aktif yang telah diaktivasi. Terdapat pita serapan yang lemah dan tajam pada bilangan 3741,97 cm<sup>-1</sup> yang disebabkan adanya gugus hidroksil (O-H) [10] di mana pita serapan yang lemah dan tajam disebabkan oleh aromatisasi dan dehidrasi dari kondensasi dan dekomposisi senyawa yang mudah menguap karena telah melewati proses karbonisasi pada suhu tinggi dan aktivasi. Pada bilangan gelombang pada 1088,84 cm<sup>-1</sup>, 451,35 cm<sup>-1</sup>, dan sekitar 800<sup>-1</sup> cm disebabkan oleh silika yang merupakan

penyumbang presentase paling tinggi dalam karbon aktif sekam padi [11], pita serapan tersebut disebabkan oleh adanya regangan asimetri Si-O-Si dan vibrasi bending Si-O-Si [12].

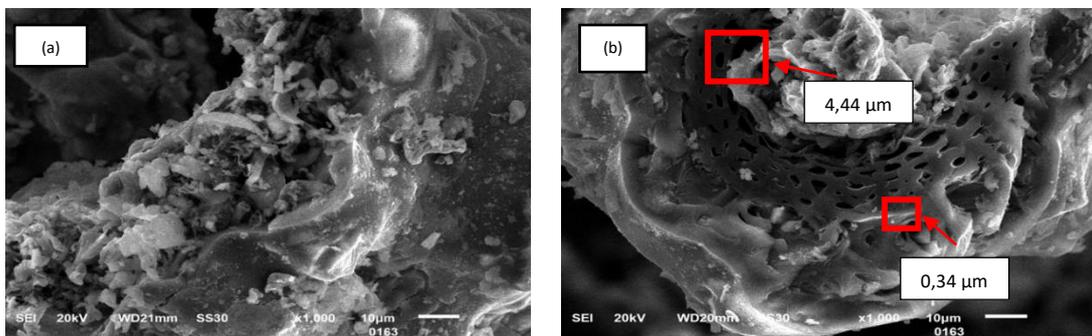


Gambar 1. Spektrum IR Karbon Aktif Sebelum (Hitam) dan Sesudah Aktivasi (Merah)

Siloksan atau Si-O-Si merupakan gugus aktif yang berperan dalam adsorpsi ion logam, di mana atom O pada siloksan merupakan situs aktif sebagai donor pasangan elektron sehingga memiliki kecenderungan berinteraksi dengan ion logam berat [13].

### 3.1.2 Karakterisasi dengan SEM

Karakterisasi dengan SEM dilakukan untuk melihat morfologi permukaan karbon dan karbon aktif sebelum dan sesudah diaktivasi. Hasil analisis morfologi permukaan karbon aktif pada perbesaran 1000x, dapat dilihat bahwa karbon aktif menghasilkan pori-pori yang mengindikasikan berhasilnya sintesis karbon aktif dari sekam padi yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi permukaan karbon sekam padi (a) dan karbon aktif sekam padi (b)

Berdasarkan perhitungan diameter pori pada Gambar 2 (b) menggunakan aplikasi *nano measure 1.2* pada skala 10 μm, diperoleh estimasi diameter pori paling besar yaitu 4,44 μm dan yang paling kecil sebesar 0,34 μm.

### 3.1.3 Karakterisasi Luas Permukaan Menggunakan BET

Pada penelitian ini karakterisasi luas permukaan dilakukan pada sampel karbon dan karbon aktif. Terjadi kenaikan luas permukaan dari karbon sekam padi dengan karbon aktif sekam padi yaitu 211,508 m<sup>2</sup>/g menjadi 236,883 m<sup>2</sup>/g. Hasil analisis luas permukaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Luas Permukaan dengan Metode BET

Multi-Point BET	Karbon sekam padi	Karbon aktif sekam padi
Slope	16,446	14,690
Intersep	1,893 x 10 <sup>-2</sup>	1,186 x 10 <sup>-2</sup>
Koefisien korelasi	0,999945	0,999975
C Konstan	869,787	1239,065
Surface area (m <sup>2</sup> /g)	211,508	236,883

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai C konstan menunjukkan nilai C > 200 pada karbon dan karbon aktif sekam padi di mana Nilai-nilai C di atas 200 menunjukkan adanya mikropori (Ukuran pori < 2 nm) pada adsorben [14].

### 3.2 Optimasi Adsorpsi Ion Cr(VI) Menggunakan RSM Box Behnken

Optimisasi adsorpsi ion Cr(VI) menggunakan karbon aktif sekam padi digunakan variabel independen, yaitu pH, waktu kontak, dan bobot adsorben dan dilihat mana yang memberikan nilai efisiensi adsorpsi tertinggi. Percobaan adsorpsi Cr(VI) dengan karbon aktif sekam padi dilakukan sesuai rancangan percobaan RSM desain Box Behnken, Ion Cr(VI) yang tidak teradsorpsi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum 530 – 540 nm. Efisiensi adsorpsi dihitung dengan persamaan berikut [15]:

$$efisiensi\ adsorpsi = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \tag{1}$$

Di mana C<sub>o</sub> merupakan konsentrasi awal larutan (mg/L) dan C<sub>e</sub> merupakan konsentrasi larutan (mg/L) setelah dikontakan dengan karbon aktif sekam padi. Berdasarkan rancangan percobaan RSM desain Box Behnken, didapatkan hasil persen efisiensi adsorpsi Cr(VI) ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Hasil Persen efisiensi adsorpsi Cr (VI) menggunakan karbon aktif sekam padi

No.	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Waktu Kontak (menit)	pH	Bobot Adsorben (gram)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	-1	-1	0	10	2	0,55	87,28
2	1	-1	0	60	2	0,55	98,43
3	-1	1	0	10	6	0,55	1,17
4	1	1	0	60	6	0,55	2,95
5	-1	0	-1	10	4	0,1	6,17
6	1	0	-1	60	4	0,1	8,04
7	-1	0	1	10	4	1	13,63
8	1	0	1	60	4	1	38,56
9	0	-1	-1	35	2	0,1	48,13
10	0	1	-1	60	6	0,1	1,91
11	0	-1	1	35	2	1	99,25
12	0	1	1	35	6	1	2,34
13	0	0	0	35	4	0,55	25,91
14	0	0	0	35	4	0,55	23,75
15	0	0	0	35	4	0,55	27,45

Analisis dilakukan terhadap respon menggunakan aplikasi MINITAB versi 17 mencakup analisis estimasi koefisien regresi dan analisis varian. Hasil analisis varian menunjukkan bahwa adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi mengikuti pola linear, kuadrat, dan interaksi. Hal ini ditunjukkan pada nilai P – value (**Tabel 3**) yaitu 0,000 yang nilainya lebih kecil dari nilai signifikannya yaitu α=0,050. Dalam penelitian ini, tingkat signifikansi (α) adalah 0,05, sehingga variabel yang memiliki p-value di bawah 0,05 dianggap signifikan secara statistik. [16].

**Tabel 3.** Analisis varian dari adsorpsi Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi

Sumber	F-Value	P-Value
Model	40,32	0,000
Linear	100,33	0,000
Waktu Kontak	4,13	0,098
pH	275,89	0,000
Bobot Adsorben	20,97	0,006
Square	15,08	0,006
Waktu Kontak * Waktu Kontak	0,00	0,953
pH * pH	35,83	0,002
Bobot Adsorben * Bobot Adsorben	6,72	0,049
2 – Way Interaction	5,56	0,047
Waktu Kontak * pH	0,46	0,528

Waktu Kontak * Bobot Adsorben	2,78	0,156
pH * Bobot Adsorben	13,38	0,014
<b>Model Summary</b>		
S = 6,91188	R-sq = 98,64%	R-sq(adj) = 96,19%

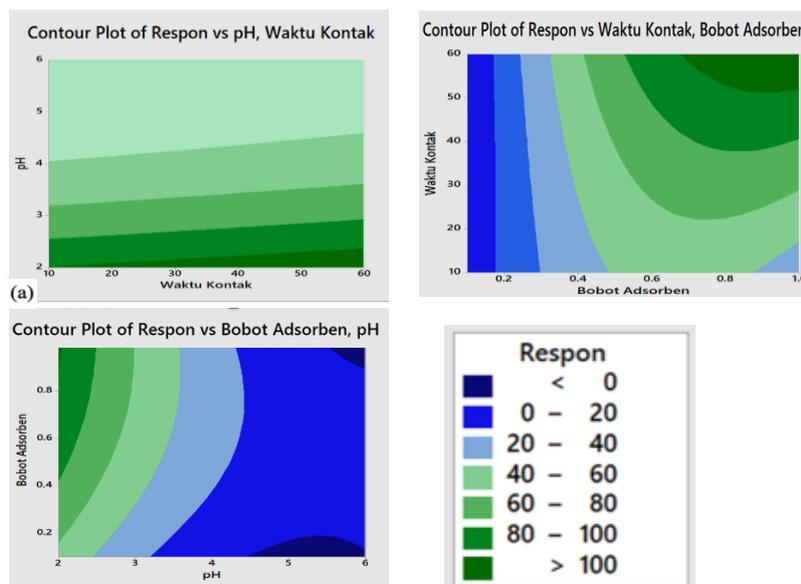
Hasil analisis variansi menunjukkan bahwa adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi mengikuti pola linier, kuadrat, dan interaksi. Hal ini didasarkan pada nilai P-value model linier, kuadrat, dan interaksi yaitu masing-masing 0,000; 0,006; 0,047 yang lebih kecil dari nilai signifikansinya ( $\alpha = 0,05$ ). Level signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,05. Nilai  $P \leq \alpha$  (0,05), hipotesis  $H_0$  diterima, yang menunjukkan bahwa variabel bebas memengaruhi nilai variabel tetap. Sebaliknya, jika nilai  $P \geq \alpha$  (0,05), hipotesis  $H_0$  ditolak, yang menunjukkan bahwa variabel bebas tidak memengaruhi nilai variabel tetap secara signifikan [9].

Jika parameter optimasi adalah waktu kontak, pH, bobot adsorben, dan respon disimbolkan sebagai  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , dan Y secara berturut-turut, maka berdasarkan analisis perkiraan koefisien regresi dapat disimpulkan model respon surface mengikuti persamaan:

$$Y = 131,2 + 0,079X_1 - 53,97X_2 + 113,9X_3 + 0,000364X_1^2 + 5,383X_2^2 - 46,1X_3^2 - 0,0469X_1X_2 + 0,0512X_1X_3 - 14,08X_2X_3 \quad (2)$$

Dari persamaan di atas, diketahui bahwa jika yang lain variabelnya konstan maka nilai Y (respon) akan berubah otomatis dengan nilai konstanta yaitu 131,2; jika nilai variabel lain konstan maka nilai Y akan berubah sebesar 0,079 untuk setiap unit  $X_1$  (waktu kontak); jika variabel lainnya konstan maka nilai Y akan berubah sebesar 113,9 untuk setiap unit  $X_3$  (bobot adsorben). Nilai minus pada unit  $X_2$  mengidentifikasi bahwa variabel tersebut memberikan efek bertolak belakang terhadap respon [6]. Hal ini dapat dilihat dari variabel bebas pH terhadap optimasi adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi pada Tabel 5 yaitu semakin tinggi pH, maka respon berupa efisiensi adsorpsi ion Cr(VI) semakin turun. **Gambar 3** menunjukkan kontur besar pengaruh interaksi antara dua variabel bebas terhadap respon, dan nilai R-Sq (adj) yang ditemukan pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa model memprediksi variabel bebas yang berpengaruh terhadap respon sebesar 96,19%.

Untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi ion Cr(VI) dapat dilakukan pada kondisi pH rendah. Ion  $\text{HCrO}_4^-$  merupakan ion yang mendominasi pada larutan kromium di pH 2 dan akan cenderung berubah menjadi  $\text{CrO}_4^{2-}$  jika pH larutan meningkat, di mana ion  $\text{HCrO}_4^-$  memiliki 1 muatan dan akan lebih mudah dinetralkan oleh gugus aktif pada permukaan karbon aktif dibandingkan dengan ion  $\text{CrO}_4^{2-}$  yang memiliki 2 muatan. Hal tersebut yang menyebabkan semakin tinggi pH



**Gambar 3.** Kontur plot *respon surface* adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi

larutan maka efisiensi adsorpsi yang dihasilkan pada penelitian ini menurun. Pada pH basa, penurunan efisiensi adsorpsi mungkin terjadi diakibatkan oleh persaingan adsorpsi ion kromat dan ion hidroksil [17].

Berdasarkan hasil percobaan *respon surface* Box Behnken, diambil keputusan untuk menggunakan kondisi optimal yang ditetapkan oleh respon optimizer yaitu bobot adsorben 0,7351 gram, pH 2,13, dan waktu kontak 59,77 menit pada 50 mL larutan Cr(VI) dengan konsentrasi 10 mg/L menghasilkan efisiensi adsorpsi sebesar 100%. Terhadap kondisi optimum adsorpsi Cr(VI) yang diperoleh, kemudian dilakukan adsorpsi dengan bervariasi konsentrasi larutan Cr(VI) yang dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Efisiensi adsorpsi Cr (VI) dengan variasi konsentrasi pada kondisi optimum

[Cr (VI)] mg/L (Co)	Bobot adsorben (g)	[Cr (VI)] akhir mg/L (Ce)	[Cr (VI)] Terserap (mg/L)	%efisiensi adsorpsi
10,3436	0,7351	0,0015	10,3421	99,99
15,6891	0,7351	0,0441	15,6450	99,72
21,0465	0,7351	0,1894	20,8571	99,10
26,1032	0,7351	0,4378	25,6654	98,32
31,3140	0,7351	1,0231	30,2909	96,73

Berdasarkan **Tabel 4**, persen efisiensi adsorpsi semakin menurun jika konsentrasi adsorbat yang diserap bertambah. Pada konsentrasi 10 mg/L diperoleh efisiensi adsorpsi sebesar 99,99% yaitu merupakan konsentrasi optimum yang menghasilkan efisiensi adsorpsi paling tinggi. Hal ini sesuai dengan respon optimizer yang diperoleh pada aplikasi MINITAB 17. Pada konsentrasi 15 mg/L, karbon aktif sekam padi mampu mengadsorpsi ion Cr(VI) sebesar 99,72% hingga dihasilkan konsentrasi akhir larutan sebesar 0,0441 mg/L. Berdasarkan baku mutu lingkungan yang diatur pada PP No.22 tahun 2021, ambang batas dari keberadaan Cr(VI) dalam air sungai yaitu 0,05 mg/L, sehingga adsorpsi Cr(VI) dapat diaplikasikan pada konsentrasi limbah Cr(VI) sebesar 15 mg/L dalam larutan 50 mL.

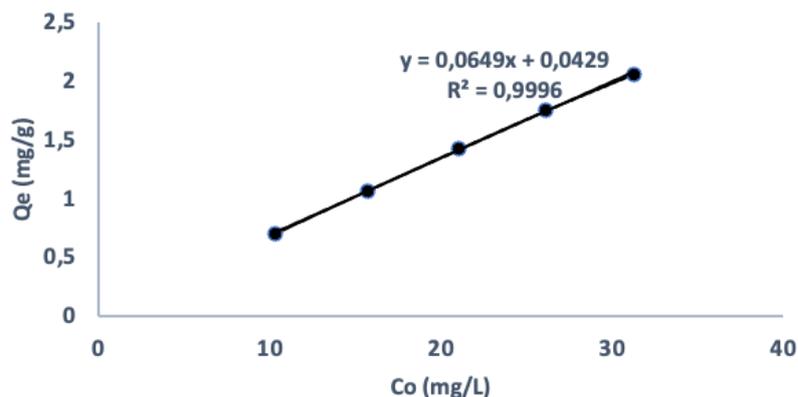
### 3.3 Penentuan Isoterm adsorpsi Ion Logam Cr(VI) oleh Karbon Aktif Sekam Padi

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk mengetahui interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat serta pengaruh konsentrasi awal ion logam terhadap jumlah ion logam yang diadsorpsi oleh adsorben pada kondisi optimum. Pada penelitian ini kondisi optimum yang didapatkan setelah proses optimasi dikontakan dengan larutan Cr(VI) dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 mg Cr(VI)/L. pada **Gambar 4** menunjukkan hubungan kapasitas adsorpsi dengan konsentrasi awal ion Cr(VI). Kapasitas adsorpsi dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (3)$$

Di mana  $Q_e$  merupakan kapasitas adsorpsi (mg/g),  $V$  merupakan volume larutan yang digunakan (L),  $m$  merupakan bobot adsorben (g),  $C_0$  merupakan konsentrasi awal (mg/L), dan  $C_e$  merupakan konsentrasi larutan setelah adsorpsi (mg/L).

Berdasarkan **Gambar 4** terlihat bahwa adanya kenaikan sebanding dengan naiknya konsentrasi awal Cr(VI). Hal tersebut menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi meningkat seiring dengan



meningkatnya konsentrasi awal Cr(VI). Persamaan Langmuir dan Freundlich digunakan untuk melakukan analisis isoterm

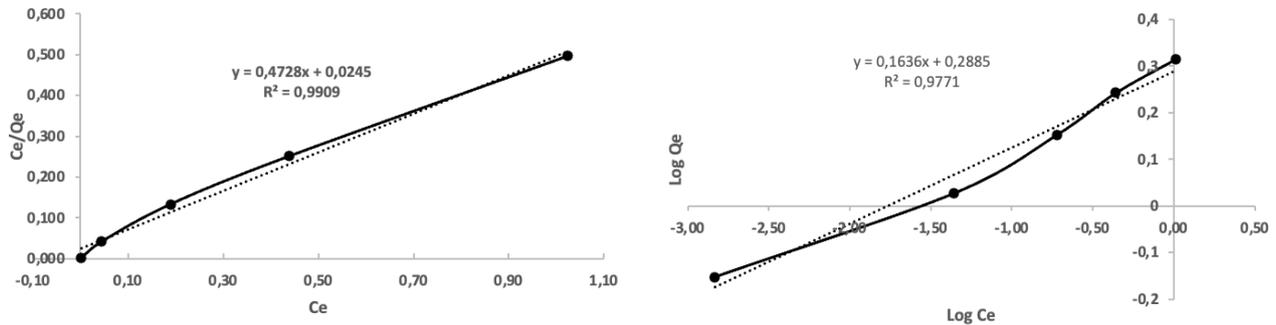
**Gambar 4.** Kurva hubungan antara konsentrasi awal Cr(VI) ( $C_0$ ) dan kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi. Model Langmuir menggunakan persamaan garis linear antara  $C_e$  terhadap

$C_e/Q_e$ , sedangkan model Freundlich menggunakan persamaan garis linear antara  $\text{Log } C_e$  dan  $\text{Log } Q_e$ . Pada **Tabel 3** ditampilkan data analisis isoterm adsorpsi.

**Tabel 5.** Data analisis isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

(Co)	(Qe)	Analisis Isoterm			
		Langmuir		Freundlich	
		(Ce)	Ce/Qe	Log Ce	Log Qe
10,3436	0,7034	0,0015	0,0021	-2,8336	-0,1528
15,6891	1,0641	0,0441	0,0414	-1,3558	0,0270
21,0465	1,4187	0,1894	0,1335	-0,7227	0,1519
26,1032	1,7457	0,4378	0,2508	-0,3587	0,2420
31,3140	2,0603	1,0231	0,4966	0,0099	0,3139

Berdasarkan data pada **Tabel 5**, kemudian dibuat kurva isoterm Langmuir dan Freundlich yang disajikan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Kurva Isoterm Langmuir (kiri) dan Freundlich (kanan)

Hasil penentuan isoterm adsorpsi ion Cr(VI) pada **Gambar 5** dapat diketahui bahwa persamaan adsorpsi memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9909 untuk model Langmuir dan 0,9771 untuk model Freundlich. Dari kedua model, isoterm Langmuir memiliki  $R^2$  yang lebih besar sehingga diasumsikan mekanisme adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi memenuhi model persamaan Langmuir, di mana mekanisme adsorpsi secara kimia yaitu masing-masing gugus aktif adsorben hanya mengadsorpsi satu molekul adsorbat sehingga adsorpsi akan terbatas pada terbentuknya lapisan tunggal (*monolayer*) [18]. Persamaan Freundlich berbasis pada asumsi bahwa adsorpsi berlangsung melalui proses fisisorpsi, yang memfasilitasi pembentukan ikatan antara ion-ion logam dalam larutan dan adsorben. Proses ini juga melibatkan ikatan kedua yang dipengaruhi oleh gaya Van Der Waals, karakteristiknya tidak terikat secara kuat, memungkinkan mudahnya pelepasan. Konsekuensinya, adsorbat dapat bergerak dengan lebih bebas, memicu terbentuknya proses adsorpsi yang mencakup banyak lapisan (*multilayer*) [19].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, karbon aktif dari sekam padi berhasil disintesis ditunjukkan dari karakterisasinya menggunakan FTIR dan SEM. Kemudian didapatkan kondisi optimum adsorpsi ion Cr(VI) oleh karbon aktif sekam padi menggunakan RSM desain Box Behnken yaitu waktu kontak 59,77 menit, pH 2,13, dan bobot adsorben 0,7531 gram. Dari kondisi optimum tersebut didapatkan persentase efisiensi adsorpsi sebesar 99,99% terhadap 50 mL larutan Cr(VI) 10 mg/L. Isoterm adsorpsi karbon aktif sekam padi memenuhi model isoterm Langmuir ( $R^2 = 0,9909$ ).

#### Daftar Pustaka

- [1] S. Saputro, M. Masykuri, L. Mahardiani, B. Mulyani, and N. T. Wahyuni, "Kajian Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) Oleh Adsorben Kombinasi Arang Aktif Sekam Padi dan Zeolit Menggunakan Metode Solid-Phase Spectrophotometry," *J. Sains Dasar*, vol. 5, no. 2, pp. 116–123, 2016.
- [2] Lempang, "Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif," *Info Eboni*, vol. 11, no. 2, pp. 65–80, 2014.
- [3] H. M. Mozammel, O. Masahiro, and B. Sc, "Activated charcoal from coconut shell using ZnCl<sub>2</sub> activation," *Biomass Bioenergy*, vol. 22, pp. 397–400, 2002.

- [4] M. M. Alam *et al.*, "The potentiality of rice husk-derived activated carbon: From synthesis to application," *Processes*, vol. 8, no. 2. MDPI AG, Feb. 01, 2020. doi: 10.3390/pr8020203.
- [5] S. Azad, M. S. Hassan, M. Shahinuzzaman, and S. Azhari, "Removal of Copper from spiked Aqueous Solution Using Activated Carbon of Rice Husk," *Science & Technology Asia*, vol. 27, no. 3, 2022, doi: 10.14456/scitechasia.2022.46.
- [6] M. Fathurrahman, Susanto, T. Aminingsih, and R. D. M. Maharani, "Optimization of Cr(VI) Adsorption on Eugenol-Silica Gel Composites Using Behnken Box Design," *Jurnal Kartika Kimia*, vol. 5, no. 1, Nov. 2022, doi: 10.26874/jkk.v5i1.104.
- [7] L. J. Kusumawardani, T. R. Suryadi, and A. Taufik, "Optimasi Adsorpsi Kromium (VI) Oleh Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*)," *PROSIDING SENANTIAS*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [8] H. Budiastuti, "Aktivasi Karbon Aktif Kulit Singkong Dengan Aktivator NaCl, ZnCl<sub>2</sub>, dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Untuk Adsorben Pb<sup>2+</sup>," *ResearchGate*, vol. 5, pp. 274–281, 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/348336211>
- [9] A. Hamni, O. Sumardi, G. A. Ibrahim, and A. Yahya, "Aplikasi Box Behnken Design Untuk Optimasi Parameter Proses Pemesinan Bubut Magnesium AZ31 Menggunakan Pahat Putar Dan Udara Bertekanan".
- [10] J. B. Njewa, E. Vunain, and T. Biswick, "Synthesis and Characterization of Activated Carbons Prepared from Agro-Wastes by Chemical Activation," *J Chem*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/9975444.
- [11] K. Zhu, H. Fu, J. Zhang, X. Lv, J. Tang, and X. Xu, "Studies on removal of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N from aqueous solution by using the activated carbons derived from rice husk," *Biomass Bioenergy*, vol. 43, pp. 18–25, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.biombioe.2012.04.005.
- [12] Solihudin, A. Rostika Noviyanti, and Rukiah, "Aktivasi Arang Sekam Padi dengan Larutan Natrium Karbonat dan Karakterisasinya," *Chimica et Natura*, vol. 3, no. 1, pp. 11–16, 2015.
- [13] S. Kristianingrum, D. Siswani, and D. Suyanta, "Modifikasi Abu Vulkanik Kelud 2014 Sebagai Bahan Adsorben Selektif Ion Logam Tembaga(II)," 2016.
- [14] ISO 9277, "ISO 9277 Determination of The Specific Surface Area of Solids by Gas Adsorption - BET Method," 9277, 2010
- [15] Z. N. Garba, I. Bello, A. Galadima, and A. Y. Lawal, "Optimization of adsorption conditions using central composite design for the removal of copper (II) and lead (II) by defatted papaya seed," *Karbala International Journal of Modern Science*, vol. 2, no. 1, pp. 20–28, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.kijoms.2015.12.002.
- [16] R. G. Sitohang, N. J. R. Turnip, and A. Aditia, "Optimasi proses adsorpsi zat warna indigosol di air limbah artifisial menggunakan response surface methodology dengan pendekatan desirability function," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 16, no. 2, p. 60, Dec. 2022, doi: 10.22146/jrekpros.72318.
- [17] S. Utama, H. Kristianto, and A. Andreas, "Adsorpsi Ion Logam Kromium (Cr (Vi)) Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak," 2016.
- [18] I. Maulana, A. Iryani, and H. Nashrianto, "Pemanfaatan Ampas Teh Sebagai Adsorben Iom Kalsium (Ca<sup>2+</sup>) dan Ion Magnesium (Mg<sup>2+</sup>) dalam Air Sadah," Bogor, 2017.
- [19] A. Iryani, M. M. Ilimi, and D. Hartanto, "Adsorption study of Congo Red Dye with ZSM-5 directly synthesized from bangsa kaolin without organic template," *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 13, no. 4, pp. 832–839, Dec. 2017, doi: 10.11113/mjfas.v13n4.934.