

Remediasi Air Tercemar Logam Berat Kromium Menggunakan *Biochar* dari Sekam Padi

Salman Faris dan Harmin Sulistiyuning Titah

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: harminsulis@gmail.com

Abstrak—Dalam tugas akhir ini meneliti kemampuan adsorpsi logam berat kromium (Cr) menggunakan adsorben *biochar* dari bahan dasar sekam padi. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu pirolisis saat aktivasi *biochar* yang berbeda (350°C dan 500°C) dan penambahan berat *biochar* ke dalam media tercemar yang berbeda (0 gr, 8 gr, dan 16 gr). Sebelum proses adsorpsi, dilakukan uji SEM pada *biochar*. Media air tercemar akan dibubuhi dengan *biochar* dengan berbagai variasi diatas lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 180 rpm, lalu diambil sampel pada waktu kontak 0, 30, 60 menit. Pengukuran logam berat Cr dalam sampel dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian ini didapatkan penurunan konsentrasi logam berat Cr hingga 66%. Penambahan berat *biochar* paling efektif pada penelitian ini yaitu pada penambahan 16 gr *biochar* (aktivasi suhu 500°C) dengan efektivitas 59% dan 8 gr *biochar* (aktivasi suhu 350°C) dengan efektivitas 66%. Suhu pirolisis optimal terdapat pada suhu 500°C karena kadar fixed carbon yang lebih tinggi. Dimana kadar fixed carbon *biochar* dari sekam padi pada suhu 500°C adalah 38,74%, dan pada suhu 350°C kadar fixed carbon ialah 35,28%. Kesimpulan *biochar* mempunyai potensi sebagai adsorben untuk menyisihkan logam berat Cr pada media air tercemar.

Kata Kunci—Adsorpsi, *Biochar*, Kromium, Remediasi, SEM.

I. PENDAHULUAN

MENINGKATNYA aktivitas industri, mempengaruhi tingkat pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang mengandung logam berat [1]. Salah satu logam berat yang dapat menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan manusia adalah logam berat kromium [2]. Ion Cr(VI) merupakan agen pengoksidasi yang kuat dan dapat menimbulkan efek racun yang kronis meliputi infeksi pada kulit dan kanker. Menghirup zat-bahan yang mengandung Cr(VI) dapat mengakibatkan perforasi (lubang kecil) pada sekat di dalam rongga hidung, asma, bronkitis, pneumonitis, serta radang pada laring dan hati. Logam berat Cr banyak ditemukan pada limbah industri baterai, cat, semen, pelapisan, pewarnaan, dan fotografi [3].

Salah satu metode untuk menurunkan kadar logam berat pada air yaitu metode adsorpsi. Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan mengumpul dalam suatu zat penyerap [4]. Metode adsorpsi cukup sensitif terhadap zat-zat beracun, sehingga sangat efektif untuk menurunkan kadar logam. Metode adsorpsi dapat menggunakan *biochar* karena cukup efektif dalam menyerap logam berat pada air limbah. *Biochar* memiliki area permukaan besar, dan kapasitas yang tinggi untuk menyerap logam berat sehingga berpotensi digunakan untuk mengurangi bioavailabilitas logam berat dan juga polutan organik melalui adsorpsi dan reaksi fisikokimia lainnya

Biochar adalah produk yang dihasilkan ketika limbah biomassa dipanaskan tanpa udara atau dengan udara yang sangat sedikit. Proses pembakaran dengan suhu yang relatif rendah (<700°C) ini sering disebut dengan *pyrolysis* [1]. Bahan baku yang bisa digunakan untuk pembuatan *biochar* adalah sampah biomassa yang tidak dimanfaatkan seperti: sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa, dan lain sejenisnya [5]. Berdasarkan penelitian terdahulu *biochar* berbahan dasar sekam padi memiliki efektivitas hingga 80% [6].

Oleh karena itu, dilakukan penelitian remediasi air tercemar logam berat Cr dengan menggunakan *biochar* dari bahan dasar sekam padi. Variabel yang diuji yaitu pengaruh suhu pirolisis saat aktivasi *biochar* dengan variasi suhu 350°C dan 500°C, serta pemberian berat *biochar* dengan variasi berat 0 gr, 8gr, 16gr. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kemampuan *biochar* dari sekam padi dalam menyisihkan logam berat Cr pada media air tercemar dan dapat menjadi referensi upaya pemulihan lingkungan hidup dari pencemaran, khususnya pencemaran air oleh logam berat Cr.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Penentuan Karakteristik *Biochar*

Tahap awal yang dilakukan adalah pembuatan *biochar* dari sekam padi dilakukan dengan cara, sekam padi dicuci dengan air sampai bersih dan dijemur di bawah terik matahari hingga kering. Lalu sekam padi yang telah bersih tersebut diarang pada suhu 350°C selama 1 jam dan 500°C selama 30 menit (sebagai variabel). Setelah itu diayak dengan ayakan 60 mesh. Setelah itu dilakukan analisis karakteristik *biochar* dan dibandingkan SNI 06 – 3730 – 1995 tentang persyaratan arang aktif. Karakteristik *biochar* yang dibandingkan adalah kadar air, kadar abu, kadar volatile, dan kadar fixed carbon. Berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis, arang aktif berbentuk serbuk yang berkualitas baik memiliki kadar air maksimal sebesar 15%, kadar zat mudah menguap maksimal 25%, kadar abu maksimal 10% dan kadar karbon minimal 65%.

Selanjutnya dilakukan analisis karakteristik *biochar* meliputi kadar air, kadar abu, dan kadar volatile di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS. Analisis kadar air dilakukan dengan metode ASTM D 3173/ D 3173 M – 17A. Analisis kadar abu dilakukan dengan metode ASTM D 3174-129 (2018). Analisis kadar volatil dilakukan dengan metode ISO 562-2010.

Setelah itu dilakukan analisis morfologi menggunakan SEM, hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pori yang terbentuk. Uji SEM dilakukan di Laboratorium Energi dan Material DRPM

Tabel 1.
Hasil Analisis Kadar Air *Biochar* Sekam Padi

Sampel	Kadar Air (%)
Sekam Padi (350°C)	2,18
Sekam Padi (500°C)	3,94

Tabel 2.
Hasil Analisis Kadar Abu *Biochar* Sekam Padi

Sampel	Kadar Abu (%)
Sekam Padi (350°C)	52,12
Sekam Padi (500°C)	48,96

Tabel 3.
Hasil Analisis Kadar Volatil *Biochar* Sekam Padi

Sampel	Kadar Abu (%)
Sekam Padi (350°C)	10,42
Sekam Padi (500°C)	8,36

Tabel 4.
Hasil Analisis *Fixed Carbon* *Biochar* Sekam Padi

Sampel	<i>Fixed Carbon</i> (%)
Sekam Padi (350°C)	35,28
Sekam Padi (500°C)	38,74

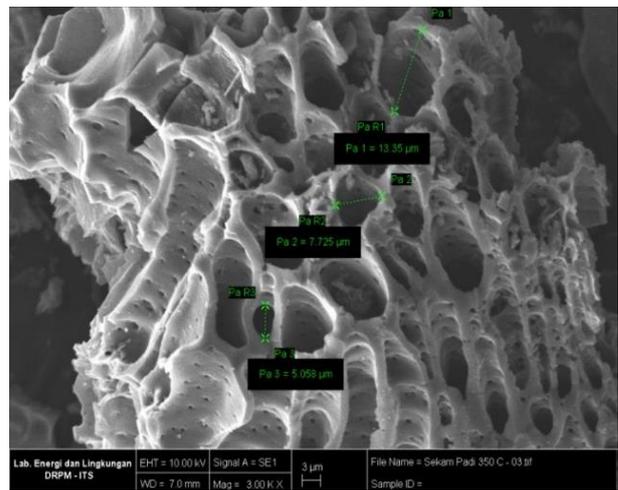
B. Pembuatan Stok Larutan Kromium

Langkah selanjutnya adalah pembuatan media tercemar. Pembuatan larutan induk logam berat Cr 1000 mg/L dilakukan dengan melarutkan sebanyak 2,829 g $K_2Cr_2O_7$ dalam labu ukur 1 L, kemudian ditambah aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan. Setelah itu pembuatan larutan baku dengan cara dipipet 10 mL larutan induk logam berat Cr 1000 mg/L dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Ditambahkan aquades sampai tanda batas, maka akan didapatkan larutan tercemar logam berat Cr 100 mg/L.

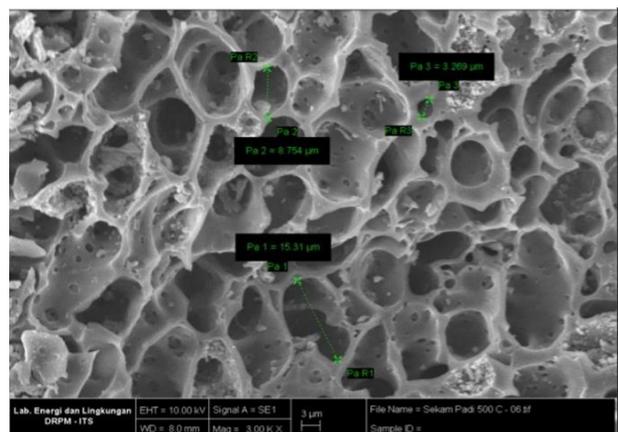
C. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variabel penelitian sehingga dapat diketahui apakah variasi perlakuan suhu pirolisis saat aktivasi *biochar* dan penambahan berat *biochar* yang berbeda dapat mempengaruhi tingkat degradasi logam berat Cr pada media tercemar.

Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan berat *biochar* pada larutan yaitu sebanyak 0 gr, 8 gr, dan 16 gr (w/w). Penelitian dilakukan dengan membubuhkan *biochar* pada variasi 0 gram (kontrol), 8 gram, dan 16 gram kedalam 160 mL larutan Cr konsentrasi 100 mg/L. Larutan Cr dibubuhi dengan *biochar* yang sudah diayak dengan ayakan 60 mesh pada kecepatan pengadukan 180 rpm [7]. Langkah selanjutnya adalah menyaring larutan menggunakan kertas saring. Penelitian dilakukan pada 10 reaktor dengan masing-masing 2 kali pengulangan kecuali pada penambahan berat *biochar* 0 gr (kontrol), sehingga terdapat total 20 reaktor. Pengujian kadar logam berat Cr pada sampel larutan dilakukan pada waktu detensi ke 0 menit, 30 menit, 60 menit. Berdasarkan hal diatas maka ada total 60 sampel air tercemar logam berat Cr yang akan diuji. Pengujian kadar logam berat Cr menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer – Flame* (AAS-*Flame*). Spektrofotometri serapan atom (SSA) merupakan metode yang didasarkan



Gambar 1. Morfologi permukaan *biochar* sekam padi pada suhu aktivasi 350°C.



Gambar 2. Morfologi permukaan *biochar* sekam padi pada suhu aktivasi 500°C.

pada proses spektroskopi yaitu eksitasi dan emisi. Metode SSA merupakan metode kuantitatif yang digunakan untuk mengukur 70 unsur baik logam maupun non logam. Untuk mengukur suatu unsur menggunakan SSA harus berbentuk atom bebas. Spesifikasi instrumen yang digunakan untuk melakukan AAS-*Flame* pada penelitian ini adalah *Hitachi AAS Z-2000 series* dari jepang.

D. Tahap Pembahasan Analisis Data

Analisis data dilakukan dari penurunan kandungan logam berat Cr. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabel menggunakan *software microsoft excel* untuk selanjutnya di plot ke dalam grafik penyisihan logam berat Cr terhadap suhu pirolisis saat aktivasi *biochar* yang berbeda, serta pemberian berat *biochar* yang berbeda. Setelah dilakukan analisis data, didapatkan titik optimum dari penurunan logam berat Cr terbesar yang terjadi pada berbagai variasi perlakuan serta parameter mana yang paling berpengaruh pada penelitian ini.

Hasil dan pembahasan diperoleh dari hasil analisis parameter yang meliputi data dari penurunan kandungan logam berat Cr. Untuk mengetahui persentase penyisihan logam berat Cr dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{(Co - Ce)}{Co} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana Co adalah konsentrasi awal logam berat (mg/L) dan Ce adalah konsentrasi akhir logam berat (mg/L).

Tabel 5.

Hasil Persentase Penyisihan Logam Berat Cr dengan Penambahan Berat *Biochar* 0 gr

Sampel	0 Menit (%)	30 Menit (%)	60 Menit (%)
Sekam Padi (350°C)	0	0	1,43
Sekam Padi (500°C)	0	-1,19	4,76

Tabel 6.

Hasil Persentase Penyisihan Logam Berat Cr dengan Penambahan Berat *Biochar* 8 gr

Sampel	0 Menit (%)	30 Menit (%)	60 Menit (%)
Sekam Padi (350°C)	0	10,77	66,32
Sekam Padi (500°C)	0	4,99	17,33

Tabel 7.

Hasil Persentase Penyisihan Logam Berat Cr dengan Penambahan Berat *Biochar* 16 gr

Sampel	0 Menit (%)	30 Menit (%)	60 Menit (%)
Sekam Padi (350°C)	0	38	48,19
Sekam Padi (500°C)	0	32,15	59,02

E. Perhitungan Isoterm

Isoterm adsorpsi pada penelitian ini menggunakan model langmuir, freundlich, dan juga Brunauer, Emmet dan Teller (BET). Adsorpsi suatu zat pada permukaan adsorben bergantung pada beberapa faktor dan memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu. Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan ekuilibrium antara konsentrasi larutan dan jumlah adsorbat yang diserap pada suhu konstan. Dalam menghitung isoterm hal yang perlu diketahui adalah jumlah adsorbat yang diserap setiap gram adsorben (mg/g) atau q_e . Mendapat nilai q_e adalah dengan persamaan (2).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (2)$$

Dimana q_e adalah jumlah adsorbat yang diserap setiap gram adsorben (mg/g), C_0 adalah konsentrasi awal logam berat (mg/L), C_e adalah konsentrasi akhir logam berat (mg/L), V adalah volume media tercemar (L), dan m adalah berat adsorben (g). Setelah mendapat q_e maka dapat menghitung tiap model isoterm.

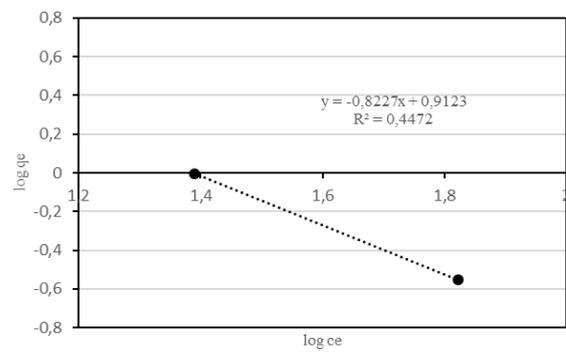
F. Analisis of Variance (ANOVA)

Langkah terakhir adalah perhitungan *Analysis of variance* (ANOVA). ANOVA merupakan salah satu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan rata – rata data lebih dari dua kelompok. Uji Anova adalah bentuk khusus dari analisis statistik yang banyak digunakan dalam penelitian eksperimen. metode analisis ini dikembangkan oleh R.A Fisher. Uji anova ini dilakukan dengan menggunakan program SPSS. Taraf kepercayaan yang digunakan adalah 95% ($\alpha = 0,05$). Variabel yang diuji pengaruhnya terhadap sisa konsentrasi adalah penambahan berat *biochar*, suhu saat aktivasi, dan waktu kontak.

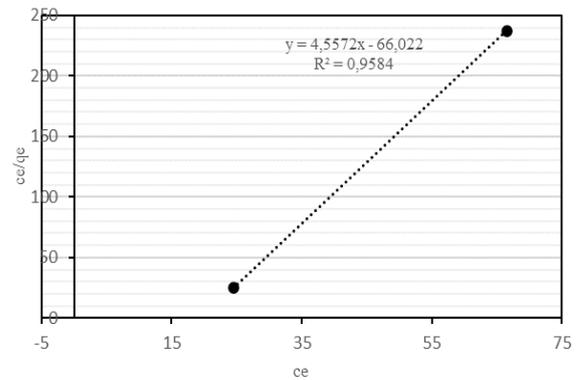
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi *Biochar*

Hasil analisis kadar air dapat dilihat pada Tabel 1. Pada



Gambar 3. Isoterm Freundlich Adsorben sekam padi pada waktu kontak 60 menit.



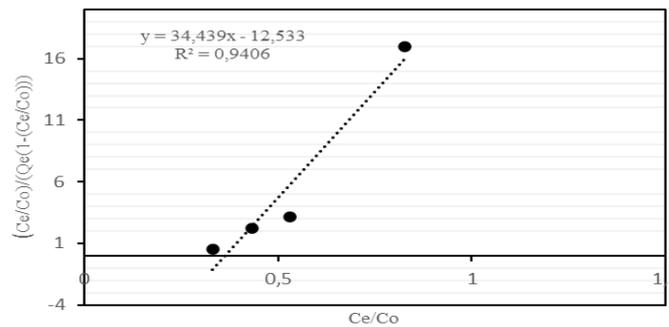
Gambar 4. Isoterm Langmuir Adsorben sekam padi pada waktu kontak 60 menit.

penelitian ini kadar air *biochar* yang terbuat dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C adalah 2,18%, dan juga pada suhu aktivasi 500°C adalah 3,94%. Kadar air *biochar* dalam bentuk serbuk menurut SNI (1995) maksimal 15%. Sehingga karbon aktif dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C dan 500°C telah sesuai dengan SNI 06-3730-1995 mengenai persyaratan arang aktif.

Perhitungan kadar air memiliki tujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif. Sifat karbon aktif yang sangat higroskopis inilah yang mengakibatkan karbon aktif efektif digunakan sebagai adsorben. Dimana temperatur dan waktu karbonisasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air yang bisa diserap, kadar air akan semakin menurun dengan naiknya temperatur dan lamanya waktu pada saat karbonisasi [7]. Kadar air yang terkandung dalam arang aktif akan berbanding terbalik dengan kemampuan penyerapannya. Semakin kecil kadar air pada *biochar* maka kemampuan penyerapannya semakin besar [8].

Hasil analisis kadar abu dapat dilihat pada Tabel 2. Kadar abu *biochar* yang terbuat dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C adalah 52,12%, dan pada suhu aktivasi 500°C adalah 48,96%. Kadar abu *biochar* dalam bentuk serbuk menurut SNI (1995) maksimal 10%. Sehingga *biochar* dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C dan 500°C tidak memenuhi SNI 06-3730-1995 mengenai persyaratan arang aktif.

Tingginya kadar abu pada sekam padi ini dikarenakan suhu karbonisasi yang terlalu tinggi, yang mana hal tersebut mengakibatkan kadar abu semakin meningkat. Peningkatan ini disebabkan oleh kenaikan suhu karbonisasi yang memicu teroksidasinya sebagian besar zat volatil termasuk pula karbon [7]. Kapasitas penyerapan karbon aktif dipengaruhi



Gambar 5. Isoterm BET Adsorben sekam padi pada waktu kontak 60 menit.

Tabel 8.

Hasil Uji ANOVA Penambahan Berat Biochar, Suhu saat Aktivasi, dan Waktu Kontak Terhadap Sisa Konsentrasi Logam Berat Cr

Name	Groups	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Penambahan Berat Biochar	Between Groups	7406,107	2	3703,053	11,416	0,001
	Within Groups	5514,579	17	324,387		
	Total	12920,686	19			
Suhu	Between Groups	317,605	1	317,605	0,454	0,509
	Within Groups	12603,081	18	700,171		
	Total	12920,686	19			
Waktu	Between Groups	4.479.776	2	2.239.888	5.125	.009
	Within Groups	24913014	57	437070		
	Total	29392790	59			

oleh kadar abu, semakin rendah kadar abu kapasitas adsorpsi akan semakin besar. Keberadaan abu yang berlebihan pada karbon aktif akan mengakibatkan penyumbatan pada pori-pori karbon aktif sehingga luas permukaan menjadi berkurang dan daya serapnya menurun [9].

Hasil analisis kadar volatil dapat dilihat pada Tabel 3. Kadar volatil biochar yang terbuat dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C adalah 10,42%, dan juga pada suhu aktivasi 500°C adalah 8,36%. Kadar volatile biochar dalam bentuk serbuk menurut SNI (1995) maksimal 25%. Sehingga karbon aktif dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C dan 500°C telah sesuai dengan SNI 06-3730-1995 mengenai persyaratan arang aktif.

Semakin kecil kadar zat volatil dari biochar, semakin bagus mutu biochar tersebut. Kadar zat volatil yang besar mengurangi kemampuan adsorpsi biochar tersebut, karena senyawa-senyawa logam yang terkandung dalam sampel akan menutupi pori-pori dari biochar itu sendiri. Kadar fixed carbon diketahui dengan cara mengurangi 100% dengan hasil kadar air, kadar abu, dan juga kadar volatile. Hasil analisis kadar fixed carbon dapat dilihat pada Tabel 4.

Kadar fixed carbon biochar yang terbuat dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C adalah 35,28%, dan juga pada suhu aktivasi 500°C adalah 38,74%. Kadar fixed carbon biochar dalam bentuk serbuk menurut SNI (1995) minimal 65%, sehingga biochar dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C dan 500°C tidak memenuhi SNI 06-3730-1995 mengenai persyaratan arang aktif. Rendahnya nilai fixed carbon ini disebabkan oleh tingginya kadar abu dari biochar sekam padi

penelitian ini yang mencapai 52,12% dan 48,96% yang melebihi SNI. Kandungan fixed carbon yang kecil dapat memengaruhi daya serap dari karbon aktif karena senyawa organik menutupi permukaan karbon untuk proses adsorpsi [10].

Hasil uji SEM biochar dari sekam padi pada suhu aktivasi 350°C dapat dilihat pada Gambar 1. Analisis SEM yang dilakukan pada biochar dari sekam padi dengan suhu aktivasi 350°C dengan perbesaran 3000 kali menunjukkan struktur permukaan karbon berpori dan berongga dengan diameter pori dari 5,058 µm -13,35 µm. Hasil uji SEM biochar dari sekam padi pada suhu aktivasi 500°C dapat dilihat pada Gambar 2.

Analisis SEM yang dilakukan pada biochar dari sekam padi dengan suhu aktivasi 500°C dengan perbesaran 3000 kali menunjukkan struktur permukaan karbon berpori dan berongga dengan diameter pori dari 3,2 µm -15,31 µm. Berdasar pada hasil SEM tersebut, hasil pori yang terbentuk lebih besar pada saat suhu aktivasi 500°C. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur karbonisasi, pori-pori yang terbentuk dan jumlah karbon yang dihasilkan akan semakin baik. Seiring dengan peningkatan suhu karbonasi, pengotor-pengotor yang mulanya terdapat pada bagian pori dan menutupi pori, ikut terlepas atau teruapkan sehingga memperluas permukaan karbon aktif [11].

B. Hasil Adsorpsi Logam Berat Cr

Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan suhu aktivasi biochar, serta penambahan berat biochar yang

ditambahkan (0gr, 8gr, 16gr) sebagai adsorben pada konsentrasi adsorbat yang sama (± 100 mg/L) dengan volume larutan 160 mL. Penurunan konsentrasi dan persen penyisihan logam Cr diambil pada waktu kontak 0, 30, dan 60 menit. Untuk persentase penyisihan logam berat Cr dengan penambahan berat *biochar* 0 gr ada pada Tabel 5.

Berdasar pada Tabel 5. Persentase penyisihan logam berat Cr tanpa penambahan *biochar* cenderung tidak mengalami kenaikan pada setiap peningkatan waktu kontak. Hal ini disebabkan tidak ada yang mengikat logam Cr sehingga konsentrasi logam Cr pada larutan tidak berkurang. Setelah itu untuk persentase penyisihan logam berat Cr dengan penambahan berat *biochar* 8 gr dapat dilihat pada Tabel 6.

Peningkatan persen penyisihan logam berat Cr pada penambahan berat *biochar* 8 gr lebih tinggi dibanding pemberian berat *biochar* 0 gr. Pada waktu kontak 30 menit, persen penyisihan untuk adsorben sekam padi pada suhu aktivasi 350°C adalah 10,77%, pada sekam padi suhu aktivasi 500°C adalah 4,99%. Kemudian mengalami kenaikan pada menit ke-60 dengan persen penyisihan 66,32% untuk sekam padi suhu aktivasi 350°C, serta 17,33% untuk sekam padi suhu aktivasi 500°C. Untuk persentase penyisihan logam berat Cr dengan penambahan berat *biochar* 16 gr dapat dilihat pada Tabel 7.

Peningkatan persen penyisihan logam berat Cr pada *biochar* sekam padi pada suhu aktivasi 350°C dengan penambahan berat *biochar* 16 gr lebih rendah dibanding pemberian berat *biochar* 8 gr, sedangkan pada suhu aktivasi 500°C, persen penyisihan pada penambahan berat *biochar* 16gr lebih tinggi dibanding pemberian berat *biochar* 8 gr. Pada waktu kontak 30 menit, persen penyisihan untuk adsorben sekam padi suhu aktivasi 350°C adalah 38%, pada sekam padi suhu aktivasi 500°C adalah 32,15%. Kemudian mengalami kenaikan pada menit ke-60 dengan persen penyisihan 48,19% untuk sekam padi suhu aktivasi 350°C, serta 59,02% untuk suhu aktivasi 500°C.

Suhu pada saat aktivasi arang aktif adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Pengaruh suhu pada saat aktivasi *biochar* pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara membandingkan 2 suhu saat aktivasi (350°C dan 500°C). Namun, suhu yang digunakan pada penelitian kali ini dirasa cukup tinggi karena menyebabkan kadar abu yang terlalu tinggi, yang mana hal tersebut mengurangi efektifitas dari *biochar* untuk melakukan adsorpsi.

Pengaruh Penambahan berat adsorben merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi adsorben. Pengaruh penambahan berat *biochar* pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara mengubah berat adsorben yang ditambahkan (0 gr, 8 gr, 16 gr) pada konsentrasi adsorbat yang sama. Peningkatan persen adsorpsi disebabkan oleh meningkatnya luas permukaan adsorben, sehingga menambah jumlah tempat berlangsungnya proses adsorpsi, dimana semakin banyak adsorben maka akan menambah jumlah tempat berlangsungnya proses adsorpsi. Namun, pemberian berat adsorben juga tidak disarankan terlalu berlebihan karena semakin banyak jumlah arang aktif yang digunakan, maka larutan akan mengalami titik jenuh, yang mana akan mengganggu proses adsorpsi [12].

Waktu kontak merupakan hal yang menentukan proses adsorpsi. Gaya adsorpsi molekul suatu zat terlarut akan

meningkat apabila waktu kontak dengan karbon aktif makin lama. Waktu kontak yang lama memungkinkan proses adsorpsi berlangsung lebih baik [12]. Waktu kontak diperlukan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi dan memperkirakan kemungkinan pengaplikasian adsorben dalam pengolahan air tercemar. Pada penelitian kali ini efektifitas adsorpsi yang didapatkan berkisar dari 4,76% hingga 59,02%, dan mungkin akan bertambah apabila waktu kontak lebih lama, namun mungkin efektifitas proses adsorpsi tidak drastis dikarenakan oleh jenuhnya tempat berikatan pada adsorben dan telah tercapainya kesetimbangan.

C. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan hal yang penting dalam proses adsorpsi. Isoterm adsorpsi biasanya digunakan untuk menjelaskan interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Isoterm adsorpsi ini menggambarkan hubungan antara jumlah zat teradsorpsi dengan jumlah adsorben pada waktu kesetimbangan. Pada penelitian kali ini, digunakan isoterm Langmuir dan Freundlich dan BET, untuk selanjutnya dipilih pola isoterm yang lebih sesuai.

Isoterm Freundlich dibuat dengan memplot nilai $\log C_e$ terhadap $\log q_e$. Grafik isoterm freundlich adsorben sekam padi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada isoterm Freundlich diketahui bahwa nilai R^2 nya adalah 0,4472. Setelah itu untuk isoterm Langmuir dibuat dengan memplot nilai C_e terhadap C_e/q_e yang bisa dilihat pada Gambar 4.

Pada isoterm Langmuir diketahui bahwa nilai R^2 nya adalah 0,9584. Sedangkan untuk Isoterm BET dibuat dengan memplot $\frac{(C_e/C_0)}{(Q_e - (1 - \frac{C_e}{C_0}))}$ dengan C_e/C_0 pada Gambar 5.

Pada isoterm BET diketahui bahwa nilai R^2 nya adalah 0,9406. Berdasarkan pada Gambar 3 hingga Gambar 5 didapatkan bahwa isoterm Langmuir lebih linier dibandingkan isoterm Freundlich dan BET. Hal ini ditunjukkan dengan nilai R^2 grafik isoterm langmuir yang lebih besar pada menit ke 60. Isoterm adsorpsi Langmuir lebih sesuai daripada isoterm Freundlich dan isoterm BET untuk proses adsorpsi Logam berat Cr dengan menggunakan adsorben sekam padi. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi hanya berlangsung satu lapis dan permukaannya bersifat homogen karena masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul selain itu mampu menggambarkan kondisi kesetimbangan antara permukaan dan larutan yang dapat bersifat bolak-balik (reversible).

D. Uji ANOVA

Uji anova ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh yang signifikan antara beberapa variabel yang digunakan terhadap sisa konsentrasi logam berat Cr. Uji anova ini dilakukan beradengan menggunakan program SPSS. Taraf kepercayaan yang digunakan adalah 95% ($\alpha = 0,05$). Variabel yang diuji pengaruhnya terhadap sisa konsentrasi adalah penambahan berat *biochar*, suhu saat aktivasi, dan waktu kontak. Adapun hasil uji anova dapat dilihat pada Tabel 8.

Variabel penambahan berat *biochar* dan waktu kontak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan Cr. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi

penambahan berat *biochar*, dan waktu kontak sebesar $< 0,05$. Sedangkan variabel suhu saat aktivasi *biochar* memiliki nilai signifikansi $> 0,05$ yang berarti tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan Cr.

IV. KESIMPULAN

Pada suhu 500°C *biochar* dari sekam padi memiliki kadar *fixed carbon* yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 350°C , dimana pada suhu 500°C kadar *fixed carbon* sekam padi ialah 38,74% dan juga pada uji SEM, luas pori didapatkan pori yang lebih besar pada suhu 500°C yang mencapai 15,31 μm . Efisiensi penyisihan logam berat Cr mencapai 59% pada berat adsorben *biochar* dari sekam padi 16 gr dengan suhu aktivasi 500°C pada waktu kontak 60 menit dengan pola isoterm Langmuir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Hidayat, "Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan *biochar*," *J. Pertan. Trop.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–61, 2015, doi: 10.32734/jpt.v2i1.2878.
- [2] I. Almira, Ulimaz and Sasmita, Aryo and Isnaini, "Analisis Kadar Air, Kadar Abu, Volatil Dan Fixed Carbon Pada *Biochar* Cangkang Sawit Dengan Variasi Suhu Pirolisis," Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Riau, 2021.
- [3] W. Asmadi, Asmadi and Endro, S and Oktiawan, "Pengurangan chrom (Cr) dalam limbah cair industri kulit pada proses tannery menggunakan senyawa alkali Ca (OH) 2, NaOH dan NaHCO3 (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang)," *J. Air Indones.*, vol. 5, no. 1, 2009, doi: 10.29122/jai.v5i1.2431.
- [4] D. Giyatmi, Z and Kamal, Melati, "Penurunan Kadar Cu, Cr dan Ag dalam Limbah Cair Industri Perak di Kotaagede Setelah Diadsorpsi dengan Tanah Liat dari Daerah Godean," in *Prosiding Seminar Nasional IVSDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, 1978, pp. 1978–0176.
- [5] B. Widiastuti, Maria Maghdalena Diana and Lantang, "Pelatihan pembuatan *biochar* dari limbah sekam padi menggunakan metode retort kiln," *J. Ilm. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 3, no. 2, pp. 129–135, 2017, doi: 10.29244/agrokreatif.3.2.129-135.
- [6] M. A. Yusuf, "Adsorpsi Ion Cr (VI) oleh Arang Aktif Sekam Padi (Adsorption Ions Of Cr (VI) By Active Rice Husk Charcoal)," Departemen Kimia, Universitas Negeri Surabaya, 2013.
- [7] L. E. Laos, "Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif," *J. Ilmu Pendidik. Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 32–36, 2016, doi: 10.26737/jipf.v1i1.58.
- [8] C. A. Saputri, "Kapasitas adsorpsi serbuk nata de coco (bacterial cellulose) terhadap ion Pb^{2+} menggunakan metode batch," *J. Kim. (Journal Chem.)*, vol. 14, no. 1, pp. 71–76, 2020, doi: 10.24843/JCHEM.2020.v14.i01.p12.
- [9] D. Ariyanto, Eko and Lestari, Dian Dwi and Kharismadewi, "Analisa kemampuan dan kinetika adsorpsi karbon aktif dari cangkang ketapang terhadap zat warna metil oranye," *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 32, no. 2, pp. 166–178, 2022, doi: 10.28959/jdpi.v32i2.7028.
- [10] C. E. Sa'diyah, Khalimatus and Lusiani, "Kualitas karbon aktif kulit pisang kepok menggunakan aktivator kimia dengan variasi konsentrasi dan waktu aktivasi," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 9–19, 2022, doi: 10.33795/jtkl.v6i1.259.
- [11] S. M. Nasution, Zainal Abidin and Rambe, "Pengaruh temperatur terhadap pembentukan pori arang cangkang sawit sebagai adsorbansi," *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 22, no. 2, pp. 48–52, 2011, doi: 10.28959/jdpi.v22i2.548.
- [12] H. A. Syaquiah, Isna and Amalia, Mayang and Kartini, "Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif," *J. Keilmuan dan Apl. Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2011, doi: 10.20527/infotek.v12i1.1773.