

Perbandingan Efektivitas Ampas Teh Hitam dan Ampas Teh Hijau sebagai Adsorben Ion Logam Cr (VI)

Rahma Gurroh Muhajjalin*, Inayah Agawijaya, Budi Santoso, Joko Suryadi

Analisis Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40559, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima 31 Agustus 2021
Disetujui 28 Desember 2021

Key word:

Black tea dregs
Green tea dregs
Adsorption
Cr (VI) ion metal
Effectiveness

Kata kunci:

Ampas teh hitam
Ampas teh hijau
Adsorpsi
Ion logam Cr (VI)
Efektivitas

ABSTRACT

Industrial waste contains various hazardous chemical compounds, such as heavy metals, one of which is chromium hexavalent ion, Cr (VI). Cr (VI) ion is carcinogenic and has toxic effects on humans. A study to treat Cr (VI) ion waste by adsorption using tea dregs has been carried out. Two types of tea dregs, black tea and green tea dregs are used as adsorbents, to compare their adsorption effectiveness. Adsorption effectiveness was determined using the visible-spectrophotometer. Parameters such as pH, adsorbent mass and concentration of Cr (VI) ions were optimized. Study determination of the adsorption isotherm model for each tea dregs included. The results showed that black tea dregs produced greater effectiveness than green tea dregs, with optimum adsorption conditions at pH 2, adsorbent mass of 0,8 grams and Cr (VI) ion concentration of 100 ppm with 99,50% removal efficiency. Meanwhile, green tea dregs produced the optimum adsorption conditions at pH 2, adsorbent mass of 0,4 grams and Cr (VI) ion concentration of 50 ppm with 87,49% removal efficiency. Langmuir adsorption isotherm model is fit for adsorption process by black tea dregs, meanwhile, green tea dregs fit with Freundlich and Langmuir isotherm model.

ABSTRAK

Limbah cair industri dapat menimbulkan pencemaran air karena mengandung berbagai senyawa kimia berbahaya seperti logam berat, salah satunya adalah ion kromium heksavalen Cr (VI). Ion Cr (VI) dapat menimbulkan efek racun bagi manusia dan bersifat karsinogenik. Dalam penelitian ini dilakukan upaya penanganan limbah ion Cr(VI) dengan cara adsorpsi menggunakan ampas teh hitam dan ampas teh hijau. Kemudian dipelajari perbandingan efektivitas adsorpsi keduanya. Penentuan efektivitas dilakukan dengan metode spektrofotometer visible. Untuk mengetahui kondisi optimum proses adsorpsi, dilakukan variasi pH, massa adsorben dan variasi konsentrasi ion Cr (VI) dari limbah buatan. Telah dilakukan pula penentuan model isoterm adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ampas teh hitam menghasilkan efektivitas lebih besar daripada ampas teh hijau, dengan kondisi optimum adsorpsi pada pH 2, massa adsorben 0,8 gram, dan konsentrasi ion Cr (VI) 100 ppm dengan efisiensi sebesar 99,50%. Sedangkan, ampas teh hijau menghasilkan kondisi optimum adsorpsi pada pH 2, massa adsorben 0,4 gram, dan konsentrasi ion Cr (VI) 50 ppm dengan efisiensi sebesar 87,49%. Model isoterm adsorpsi yang tepat untuk menggambarkan proses adsorpsi dengan ampas teh hitam adalah isoterm Langmuir, sedangkan ampas teh hijau memenuhi isoterm Freundlich dan Langmuir.

*email:

rahma.gurroh.anki18@polban.ac.id

*Telp: 082119315482

Pendahuluan

Perkembangan industri di Indonesia dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan, diantaranya adalah pencemaran air oleh limbah. Limbah cair yang dihasilkan dari proses industri mengandung berbagai macam senyawa kimia berbahaya dan sukar larut dalam air, salah satunya logam berat [1]. Penggunaan air dengan kandungan logam berat dapat menimbulkan efek racun bagi manusia.

Salah satu logam berat yang berbahaya adalah kromium (Cr). Sumber utama cemaran logam berat Cr biasanya berasal dari limbah industri pelapisan logam, industri penyamakan kulit dan industri cat/pigmen. Dalam limbah industri, biasanya kromium ditemukan dalam dua bentuk valensi yaitu valensi 3 (Cr III) dan valensi 6 (Cr VI).

Cr (VI) memiliki sifat toksik 100 kali lebih tinggi daripada Cr (III) karena memiliki mobilitas dan daya larut yang tinggi di lingkungan [2]. Kromium (Cr) VI mempunyai sifat toksik, persisten, bioakumulatif, tidak dapat terurai di dalam lingkungan, serta dapat terakumulasi di dalam tubuh manusia melalui rantai makanan [3].

Upaya penanganan limbah Cr (VI) telah dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya dengan cara reduksi kimia, *ion exchange*, adsorpsi dengan batu bara atau karbon aktif dan reduksi dengan bantuan bakteri [4]. Namun, metode tersebut memiliki kekurangan, diantaranya memerlukan energi yang tinggi, penggunaan bahan kimia yang banyak serta biaya yang tidak murah. Alternatif lain dalam penanganan logam kromium adalah dengan cara adsorpsi menggunakan *low cost adsorbent* ampas teh.

Ampas teh memiliki potensi sebagai adsorben logam berat karena memiliki kandungan senyawa selulosa yang cukup tinggi. Ampas teh mengandung senyawa selulosa sebesar 37%, lignin dan hemiselulosa sebesar 14%, serta polifenol sebesar 25% [5]. Senyawa selulosa tersebut dapat mengikat ion logam pada proses adsorpsi dikarenakan memiliki gugus karboksil dan gugus hidroksil pada senyawanya [6].

Pada penelitian ini, digunakan dua jenis ampas teh (teh hitam dan teh hijau) sebagai

adsorben untuk mengetahui efektivitas adsorpsi terhadap ion logam Cr (VI). Penentuan kondisi optimum untuk masing-masing adsorben dilakukan dengan cara memvariasikan pH, massa adsorben, serta konsentrasi larutan Cr (VI). Selain itu, dilakukan juga penentuan model isoterm adsorpsi yang sesuai pada masing-masing proses adsorpsi. Perubahan konsentrasi adsorbat oleh proses adsorpsi sesuai dengan mekanisme adsorpsinya dapat dipelajari melalui penentuan isoterm adsorpsi [7].

Bahan dan Metode

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Spektrofotometer *Visible Genesys*, neraca analitik Ohaus PA224, pH meter Metrohm 632, oven Memmert UN55, *blender* Philips, *sieve and shaker* Retsch AS200, *shaker* VRN 200, desikator, spatula, batang pengaduk, labu takar, kertas saring, *hot plate*, gelas kimia, pengaduk magnet, gelas ukur, pipet volume, pipet ukur, corong tangkai pendek, pipet tetes dan labu erlenmeyer.

Bahan

Bahan yang digunakan diantaranya ampas teh hijau, ampas teh hitam, aquades, larutan H_2SO_4 0,2 N, padatan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, larutan HNO_3 0,5 M, larutan 1,5 difenilkarbazid 0,005%, larutan NaOH 0,1 M, larutan H_2O_2 2% dan larutan HCl 0,1 N. Semua bahan yang digunakan berspesifikasi p.a.

Prosedur Kerja

Preparasi Dan Pembuatan Adsorben

Ampas teh hijau dan ampas teh hitam masing-masing dicuci menggunakan air panas sampai filtrat hasil pencucian menjadi tidak berwarna, kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kering dan dilanjutkan dalam oven pada suhu 100°C dengan lama pengeringan ± 1 jam.

Ampas teh yang telah kering kemudian digiling menggunakan *blender* dan diayak menggunakan *sieve and shaker*. Ampas teh yang digunakan sebagai adsorben adalah ampas teh yang lolos dari ayakan ukuran $500\ \mu\text{m}$ dan yang tertahan dari ayakan $250\ \mu\text{m}$ [8].

Untuk menghilangkan lignin, ampas teh direndam menggunakan larutan Hidrogen

Peroksida (H_2O_2) 2% pada pH 11 dan suhu 80°C selama 1 jam. Kemudian diaktivasi menggunakan larutan HCl 0,1 N selama ± 24 jam. Ampas teh selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga pH larutan menjadi netral dan dikeringkan kembali [9].

Pembuatan Limbah Artifisial

Limbah artifisial yang dibuat merupakan larutan kromium (VI) dengan konsentrasi 500 ppm. Larutan kromium (VI) 500 ppm dibuat dengan cara menimbang 0,7065 gram padatan Kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) kemudian dilarutkan dalam labu takar sampai 500 mL.

Analisis Menggunakan Spektrofotometri Visible

Analisis konsentrasi Cr (VI) menggunakan spektrofotometri Visible dilakukan sebelum dan setelah dilakukan adsorpsi. Sebelum melakukan analisis, ditentukan terlebih dahulu panjang gelombang maksimum (rentang panjang gelombang 490-600 nm) dan kurva kalibrasi (rentang konsentrasi 0, 1, 2, 3, 4, 5 ppm).

Analisis dengan spektrofotometer visible dilakukan pada suasana asam dengan menambahkan H_2SO_4 0,2 N. Reagen pengompleks yang digunakan adalah larutan 1,5 difenilkarbazid 0,005%.

Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan secara *batch* dengan mencampur adsorben dan 50 mL limbah artifisial kemudian diaduk pada kecepatan 130 rpm selama 45 menit. Pada proses adsorpsi ini dilakukan penentuan pH optimum (2, 4, 6, 8), massa adsorben optimum (0,2, 0,4, 0,6 dan 0,8 g), dan konsentrasi optimum (10, 20, 50, 100, 200 ppm) yaitu yang menghasilkan efisiensi penyisihan paling besar. Efisiensi penyisihan (E_f) didapat dari persamaan 1:

$$E_f (\%) = \frac{C_i - C_t}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

C_i merupakan konsentrasi awal larutan Cr (VI), C_t merupakan konsentrasi Cr (VI) setelah adsorpsi. Adsorben yang menghasilkan % E_f paling besar merupakan adsorben yang paling efektif.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan menggunakan data pada percobaan penentuan konsentrasi optimum. Kemudian dilakukan perhitungan dan pembuatan kurva pada dua

model isoterm, yaitu Freundlich dan Langmuir. Persamaan isoterm Freundlich:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

Persamaan isotherm Langmuir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L \cdot q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (3)$$

Penentuan kapasitas Adsorpsi:

$$q_e = \frac{(C_i - C_t)}{W} \times V \quad (4)$$

Keterangan :

- C_e : Konsentrasi larutan (mg/L)
- q_e : Kapasitas adsorpsi (mg/g)
- K_L : Konstanta kesetimbangan adsorpsi
- q_m : Kapasitas adsorpsi maksimum
- C_i : Konsentrasi awal Cr (VI)
- C_t : Konsentrasi akhir Cr (VI) setelah proses adsorpsi
- V : Volume larutan Cr (VI) yang digunakan pada proses adsorpsi
- W : Massa adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi
- K_f : Konstanta isoterm Freundlich
- $1/n$: Intensitas adsorpsi

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan Adsorben

Tahapan preparasi ampas teh meliputi proses pencucian, pengeringan, *sizing*, delignifikasi, dan aktivasi. Pencucian ampas teh bertujuan untuk menghilangkan kandungan tanin, polisakarida, dan protein yang dapat terhidrolisis dalam jumlah besar bersama dengan komponen larut dan berwarna lainnya untuk menghindari terganggunya proses adsorpsi [10]. Kadar air pada adsorben juga dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Oleh karena itu dilakukan pengeringan untuk mengurangi kadar air dalam ampas teh.

Ukuran partikel pada adsorben menentukan luas permukaan dari adsorben. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan pada adsorben untuk terjadinya adsorpsi. Dalam hal ini dilakukan *sizing* dengan tujuan untuk mengecilkan dan menyerasamakan ukuran agar proses adsorpsi terjadi secara maksimal.

Selain mengandung selulosa, ampas teh juga mengandung lignin dan hemiselulosa dengan kadar sebesar 14% [5]. Keberadaan lignin pada ampas teh dapat mengganggu

selulosa dalam berikatan dengan ion logam pada air limbah, sehingga dilakukan proses delignifikasi menggunakan larutan H_2O_2 2% akan terurai menjadi anion perhidroksil (HOO^-) yang merupakan senyawa yang berperan dalam proses degradasi lignin.

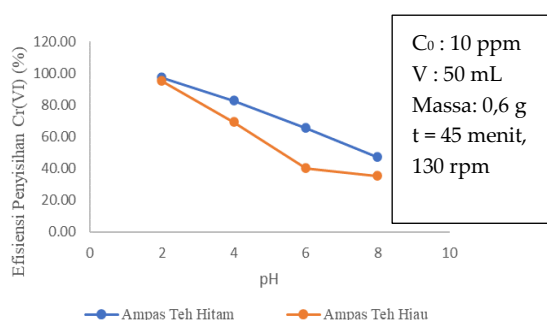
Asam klorida (HCl) diketahui dapat memperbesar pori-pori suatu bahan karena sifat asamnya yang mampu merusak jaringan pada tumbuhan [11]. Selain itu, HCl sebagai asam mineral dapat bereaksi dengan komponen lain dalam ampas teh seperti garam Mg dan Ca yang menutupi pori-pori adsorben [12].

Penentuan pH Optimum

Derajat keasaman atau pH merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan kondisi optimum dalam proses adsorpsi. pH dapat memberi pengaruh terhadap kelarutan ion logam, muatan permukaan adsorben dan derajat ionisasi. Hasil penentuan pH optimum dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) pada berbagai pH

Jenis ampas	pH	Efisiensi (%)
Teh Hitam	2	97,25
	4	82,90
	6	65,46
	8	47,11
Teh Hijau	2	95,12
	4	69,02
	6	39,99
	8	35,33



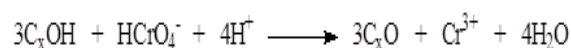
Gambar 1. Pengaruh pH terhadap efisiensi

Cr (VI) memiliki bentuk ion yang berbeda dalam larutan yaitu sebagai $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$, HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, kestabilan dari ion ini tergantung pada pH dalam larutan [13]. Dalam suasana asam kuat, HCrO_4^- adalah spesies Cr

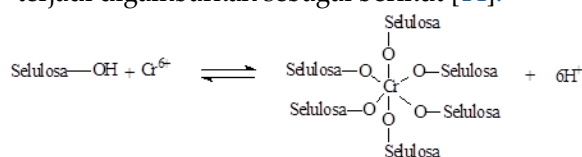
(VI) yang paling dominan. Pada kondisi asam, adsorben mengalami protonasi sehingga interaksi terjadi antara adsorben dengan anion HCrO_4^- . Oleh karena itu, adsorpsi maksimum terjadi pada pH rendah (pH 2).

Kenaikan pH menyebabkan adanya ion OH^- , sehingga permukaan adsorben cenderung bersifat negatif. Oleh karena itu, tidak ada gaya elektrostatis yang terjadi antara adsorben dengan ion logam Cr (VI), sehingga efisiensi pengurangan logam Cr (VI) mengalami penurunan.

Bila ditinjau dari selulosa sebagai zat penyerap, gugus hidroksil pada selulosa bereaksi dengan ion logam Cr (VI) dengan dua kemungkinan reaksi yaitu reduksi dari Cr (VI) menjadi Cr (III). Reaksi yang terjadi:



Adapun kemungkinan lain, reaksi yang terjadi yaitu adanya penggunaan pasangan elektron bersama oleh 2 atom yang berikatan [14]. Dalam hal ini, Cr (VI) terikat pada atom oksigen dari selulosa. Reaksi yang mungkin terjadi digambarkan sebagai berikut [14]:



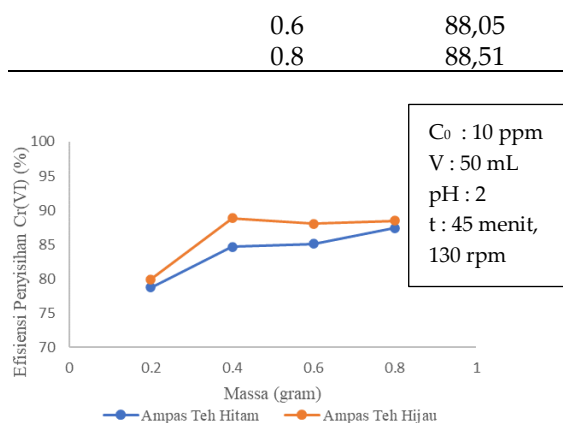
Berdasarkan hasil percobaan, kondisi pH optimum diperoleh pada pH 2 dengan efisiensi sebesar 97,25% pada ampas teh hitam dan 95,12% pada ampas teh hijau.

Penentuan Massa Adsorben Optimum

Penentuan massa adsorben dilakukan untuk mengetahui berapa banyak massa adsorben yang harus ditambahkan agar menghasilkan efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) paling besar.

Tabel 2. Data efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) pada berbagai massa adsorben.

Jenis ampas	Massa Adsorben (gram)	Efisiensi (%)
Teh Hitam	0.2	78,78
	0.4	84,70
	0.6	85,09
	0.8	87,41
Teh Hijau	0.2	79,94
	0.4	88,83



Gambar 2. Pengaruh massa terhadap efisiensi

Kondisi massa optimum pada adsorpsi dengan ampas teh hitam dicapai saat penambahan massa 0,8 gram dengan efisiensi sebesar 87,41%. Sedangkan untuk adsorben ampas teh hijau, penyisihan tertinggi sebesar 88,83% pada massa 0,4 gram. Untuk konsentrasi Cr (VI) awal yang tetap, peningkatan jumlah adsorben telah memberikan luas permukaan yang lebih besar [15].

Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh pada adsorpsi dengan ampas teh hitam. Semakin besar massa adsorben yang ditambahkan, semakin besar pula efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI). Namun setelah mencapai persentase penyisihan optimum, penambahan massa adsorben akan memberikan hasil yang kurang lebih konstan, artinya penurunan atau peningkatan efisiensi tidak terjadi secara drastis.

Peningkatan yang sangat lambat dalam efisiensi penyisihan akan terjadi bila dosisnya sudah optimum, yang mungkin disebabkan oleh keadaan kesetimbangan antara adsorbat dan adsorben [16]. Dalam hal ini adsorben telah jenuh dan tidak dapat berikatan lagi dengan molekul lain.

Adapun perbedaan massa optimum antara adsorben ampas teh hitam dan ampas teh hijau dapat disebabkan karena kandungan gugus penjerap yang berbeda dari masing-masing adsorben. Untuk mendukung hal ini sebaiknya dilakukan pengujian ukuran pori dan morfologi permukaan masing-masing adsorben.

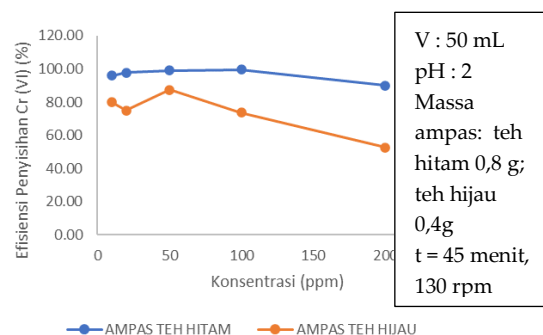
Penentuan Konsentrasi Optimum

Proses adsorpsi dilakukan dengan kondisi

optimum yang telah diperoleh pada percobaan sebelumnya. Berikut hasil yang diperoleh:

Tabel 3. Data efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) pada berbagai konsentrasi

Jenis ampas	Konsentrasi (ppm)	% Efisiensi
Teh Hitam	10	96,06
	20	97,79
	50	99,16
	100	99,56
	200	90,06
Teh Hijau	10	79,83
	20	75,00
	50	87,49
	100	73,64
	200	52,55



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi ion logam Cr (VI) terhadap efisiensi penyisihan

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa pada konsentrasi awal (rendah) persen efisiensi penyisihan mengalami kenaikan. Hal tersebut dapat disebabkan, pada konsentrasi yang rendah semua ion logam masih dapat berinteraksi dengan situs pengikatan pada adsorben sehingga proses penyisihan masih mengalami kenaikan [17]. Kemudian pada konsentrasi tertentu, efisiensi penyisihan mengalami penurunan dengan bertambahnya konsentrasi Cr (VI). Hal tersebut dapat disebabkan oleh terbatasnya jumlah situs pengikatan yang kosong untuk adsorpsi adsorbat ke permukaan adsorben [18].

Berdasarkan data yang diperoleh, proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas teh hitam dengan kondisi optimum pH 2, massa adsorben 0,8 gram, dan konsentrasi 100 ppm menghasilkan efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) pada limbah artifisial sebesar 99,50%. Sedangkan, pada proses adsorpsi menggunakan adsorben ampas teh hijau pada

kondisi optimum pH 2, massa adsorben 0,4 gram dan konsentrasi 50 ppm menghasilkan efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) pada limbah artifisial sebesar 87,49%.

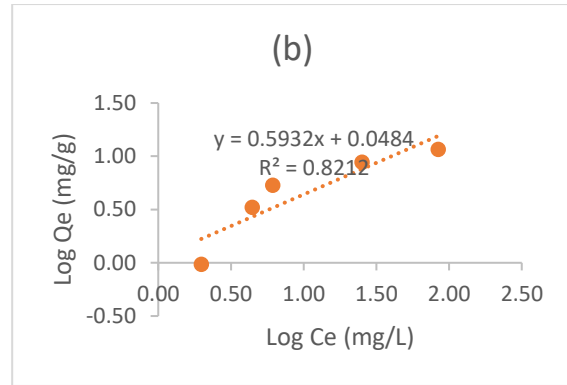
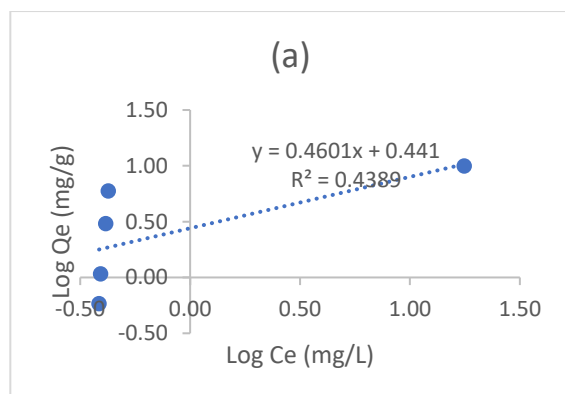
Sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorben ampas teh hitam memiliki efektivitas adsorpsi lebih besar dibandingkan adsorben ampas teh hijau karena menghasilkan efisiensi penyisihan ion logam Cr (VI) lebih besar pada kondisi optimumnya. Namun demikian, hasil konsentrasi Cr (VI) akhir yang diperoleh belum memenuhi syarat baku mutu untuk beberapa industri. Hal ini dikarenakan konsentrasi awal limbah artifisial yang digunakan cukup tinggi, sehingga nilai efektivitas yang diperoleh belum memberikan hasil yang memenuhi syarat yaitu sekitar 0,1 ppm.

Penentuan Model Adsorpsi Isoterm

Pada adsorpsi padat-cair umumnya proses adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich dan Langmuir [19]. Perbedaan utama antara model Freundlich dan Langmuir adalah bahwa Langmuir mengasumsikan bahwa ion teradsorpsi sebagai lapisan tunggal pada permukaan, dan adsorpsi maksimum terjadi ketika permukaan sepenuhnya tertutup, sedangkan Freundlich memiliki asumsi permukaan heterogen dengan afinitas berbeda yang memiliki adsorpsi *multilayer* [20].

Isoterm Freundlich

Hasil data yang diperoleh dari penentuan konsentrasi optimum digunakan untuk menentukan jenis adsorpsi isoterm. Berdasarkan data hasil percobaan, grafik isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Grafik Adsorpsi Isoterm Freundlich
(a) Ampas Teh Hitam (b) Ampas Teh Hijau

Parameter isoterm Freundlich pada adsorpsi Cr (VI) dengan ampas teh diringkas pada tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter isoterm Freundlich

Parameter	Ampas teh hitam	Ampas teh hijau
Persamaan Garis	$y = 0,4601x + 0,4410$	$y = 0,5932x + 0,0484$
R^2	0,4389	0,8212
K_f	2,76	1,12
$1/n$	0,4601	0,5932
n	2,17	1,69

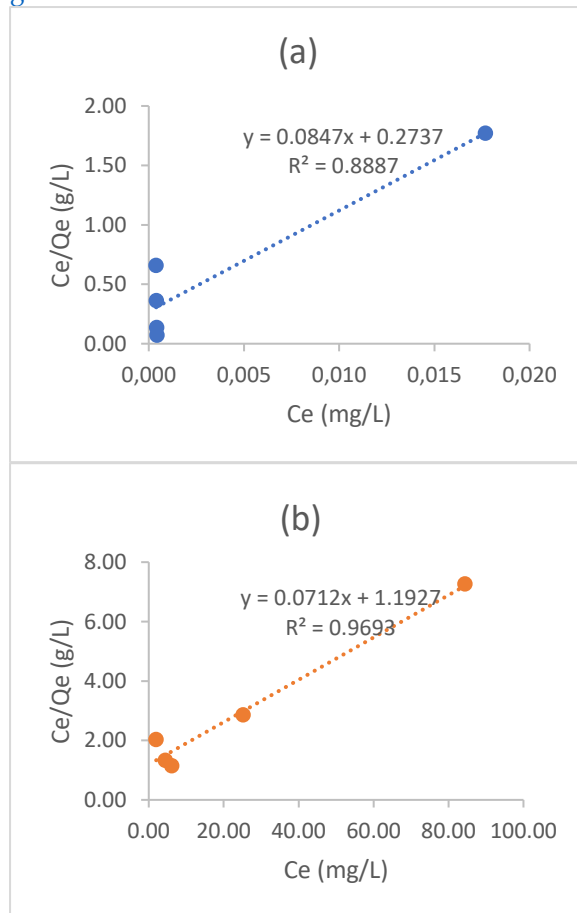
Persamaan garis yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai konstanta isoterm Freundlich (K_f) dan intensitas adsorpsi (n). Nilai K_f setara dengan kapasitas adsorpsi dalam mg/g adsorben, diperoleh dari intersep pada persamaan garis. Adsorben ampas teh hitam memiliki nilai K_f sebesar 2,76 mg/g, sedangkan pada teh hijau 1,12 mg/g.

Nilai n merupakan intensitas adsorpsi, dan mengindikasikan tipe proses adsorpsi. Jika nilai $1/n = 0$ proses adsorpsi terjadi secara *irreversible*, jika $0 < 1/n < 1$ adsorpsi bersifat optimal, dan $1/n > 1$ menunjukkan adsorpsi non-optimal [13]. Nilai $1/n$ merupakan slope dari persamaan garis yang diperoleh. Berdasarkan data percobaan, ampas teh hitam memiliki nilai $1/n = 0,4601$ dan ampas teh hijau 0,5932. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara optimum pada kedua jenis adsorben.

Isoterm Langmuir

Model adsorpsi isoterm lain yang umum digunakan ialah model isoterm Langmuir.

Grafik adsorpsi isoterm Langmuir pada masing-masing adsorben ditampilkan pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Grafik adsorpsi isoterm Langmuir (a) ampas teh hitam (b) ampas teh hijau

Parameter model isoterm Langmuir pada adsorpsi Cr (VI) dengan ampas teh diringkas pada tabel dibawah ini

Tabel 5. Parameter isoterm Langmuir

Parameter	Ampas teh hitam	Ampas teh hijau
Persamaan Garis	$y = 0,0847x + 0,2737$	$y = 0,0712x + 1,1927$
R^2	0,8887	0,9693
$1/q_m$	0,0847	0,0712
q_m	11,806	14,045
K_L	0,31	0,06

Nilai q_m pada persamaan isotherm Langmuir menunjukkan besarnya kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g) pada adsorben yang diperoleh dari slope persamaan garis pada kurva. Nilai q_m yang diperoleh sebesar 11,81 mg/g untuk adsorben ampas teh hitam dan 14,04 mg/g untuk adsorben ampas teh hijau. Adapun koefisien Langmuir yang diperoleh adalah 0,31 untuk teh hitam dan 0,06 untuk teh hijau.

Uji Statistika Koefisien Korelasi

Dalam perhitungan koefisien korelasi (r), perlu dilakukan uji statistika untuk mengetahui apakah koefisien korelasi yang diperoleh memang berarti, mengingat banyaknya pasangan titik dalam perhitungan. Uji statistika dilakukan menggunakan uji t dengan persamaan:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (4)$$

Dengan n merupakan jumlah data yang digunakan dan r adalah koefisien korelasi. Nilai t yang diperoleh dari perhitungan kemudian dibandingkan dengan nilai t_{tabel} pada tingkat kepercayaan 95% menggunakan uji dua arah. Hipotesis nol (H_0) dalam hal ini adalah korelasi yang ada antara variabel x dan y tidak berarti secara statistik (pasangan data yang menunjukkan adanya korelasi jumlahnya tidak memadai). Bila nilai t hasil perhitungan lebih besar daripada nilai t_{tabel} , maka hipotesis nol ditolak, artinya korelasi yang berarti secara statistik.

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang diperoleh dari model isoterm Freundlich dan Langmuir, hasil uji t dapat dilihat pada tabel 6.

Model isoterm Feundlich menghasilkan nilai t_{hitung} lebih kecil daripada t_{tabel} yaitu 1,532 untuk ampas teh hitaam. Dalam hal ini, H_0 diterima, artinya korelasi yang ada antara variable x dan y tidak berarti secara statistik.

Tabel 6. Hasil uji statistika

Isoterm	Adsorben	r^2	R	t_{hitung}	$t_{\text{tabel}} (df=3)$
Freundlich	Ampas teh hitam	0,4389	0,6625	1,532	3,185
	Ampas teh hijau	0,8212	0,9062	3,712	
Langmuir	Ampas teh hitam	0,8887	0,9427	4,894	
	Ampas teh hijau	0,9693	0,9845	9,732	

Sedangkan untuk ampas teh hijau diperoleh t_{hitung} 3,712 atau $t_{hitung} > t_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Maka nilai koefisien korelasi untuk teh hijau memberikan hasil yang berarti secara statistik atau dapat dikatakan memenuhi isoterm Freundlich. Proses adsorpsi dapat terjadi secara *multilayer*.

Model isoterm Langmuir menghasilkan nilai t_{hitung} sebesar 4,894 untuk ampas teh hitam dan 9,732 untuk ampas teh hijau. Hasil t_{hitung} memiliki nilai yang lebih besar daripada t_{tabel} . Dengan demikian H_0 ditolak, artinya terdapat korelasi yang berarti secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa hasil koefisien korelasi yang diperoleh pada penentuan isoterm Langmuir dapat diterima. Kedua ampas teh memenuhi isoterm Langmuir.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa adsorben ampas teh hitam memiliki efektivitas lebih baik dibandingkan dengan adsorben ampas teh hijau karena menghasilkan efisiensi penyisihan logam Cr (VI) lebih besar dibandingkan adsorben ampas teh hijau yaitu sebesar 99,50% pada kondisi optimumnya.

Model isotherm yang sesuai dalam proses adsorpsi Cr (VI) menggunakan ampas teh hitam adalah isoterm Langmuir dengan nilai q_m sebesar 11,81 mg/g dan KL 0,31. Sedangkan pada ampas teh hijau, model isoterm yang memenuhi ialah isoterm Freundlich dan Langmuir dengan nilai q_m sebesar 14,04 mg/g, KL 0,06; n 3,22 dan Kf 3,0.

Perlu dilakukan karakterisasi adsorben sebelum dan setelah proses adsorpsi menggunakan SEM-EDX, FTIR, dan BET. Selain itu, perlu dilakukan pengukuran blanko, pengukuran kadar selulosa, variasi waktu kontak, variasi ukuran partikel untuk mendukung data yang telah diperoleh.

Kesimpulan

1. Wijaya, I.K.; Yulia, Y.F.; Udyani, K. Pemanfaatan Daun Teh Sebagai Biosorben Logam Berat Dalam Air Limbah (Review). *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* **2020**, *12*, 25–33, doi:10.33005/envirotek.v12i2.55.
2. Rahman, M.U.; Gul, S.; Haq, M.Z.U. Reduction of Chromium(VI) by Locally

- Isolated *Pseudomonas* Sp. C-171. *Turk J Biol* **2007**, *31*, 161–166.
3. Kurniawati, S.; Nurjazuli, N.; Raharjo, M. Risiko Kesehatan Lingkungan Pencemaran Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr VI) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Aliran Sungai Garang Kota Semarang. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan* **2017**, *3*, 152–160.
4. Slamet, S.; Syakur, R.; Danumulyo, W. Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (Vi) Dengan Fotokatalis TiO₂. *MST* **2010**, *7*, doi:10.7454/mst.v7i1.132.
5. Bajpai, S.K.; Jain, A. Removal of Copper(II) from Aqueous Solution Using Spent Tea Leaves (STL) as a Potential Sorbent. **2010**, *36*, 8.
6. Maulana, I.; Iryani, A.; Nashrianto, H. Pemanfaatan Ampas Teh Sebagai Adsorben Ion Kalsium (Ca²⁺) dan Ion Magnesium (Mg²⁺) DALAM AIR SADAH. **2017**, *9*.
7. Sanjaya, A.S.; Agustine, R.P. Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang. *Konversi* **2015**, *4*, 17–24.
8. Nurafriyanti, N.; Prihatini, N.S.; Syauqiah, I. Pengaruh Variasi Ph Dan Berat Adsorben Dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total Pada Limbah Artifisial Menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)* **2017**, *3*, doi:10.20527/jukung.v3i1.3200.
9. Pratama, D.A. Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe dan Cu Pada Air Sungai Mahakam. *JURNAL INTEGRASI PROSES* **2017**, *6*, doi:10.36055/jip.v6i3.1560.
10. Hussain, S.; Anjali, K.P.; Hassan, S.T.; Dwivedi, P.B. Waste Tea as a Novel Adsorbent: A Review. *Appl Water Sci* **2018**, *8*, 165, doi:10.1007/s13201-018-0824-5.
11. Purwaningsih, L.; Rachmaniyah; Hermiyanti, P. Penurunan Kadar Besi (II) Pada Air Bersih Menggunakan Ampas Daun Teh Diaktivasi. *GEMA LINGKUNGAN KESEHATAN* **2019**, *17*, doi:10.36568/kesling.v17i2.1060.
12. Sembiring, M.T.; Sinaga, T.S. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). **2003**.
13. Cherdchoo, W.; Nithettham, S.; Charoenpanich, J. Removal of Cr(VI) from Synthetic Wastewater by Adsorption onto Coffee Ground and Mixed Waste Tea. *Chemosphere* **2019**, *221*, 758–767, doi:10.1016/j.chemosphere.2019.01.100.

14. Abriagni, D. Optimasi Asorpsi Krom (VI) dengan Ampas Daun Teh (*Camellia sinensis* L) Menggunakan Metode Spektrofotometri, Universitas Negeri Semarang: Semarang, 2011.
15. Khosravi, R.; Fazlzadehdavil, M.; Barikbin, B.; Taghizadeh, A.A. Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Granular and Powdered *Peganum Harmala*. *Applied Surface Science* **2014**, *292*, 670–677, doi:10.1016/j.apsusc.2013.12.031.
16. Rao, M.; Parwate, A.V.; Kadu, P.A.; Bhole, A.G. Performance of Low-Cost Adsorbents for the Removal of Copper and Lead. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* **2003**, *52*, 49–58, doi:10.2166/aqua.2003.0005.
17. Jeyaseelan, C.; Gupta, A. Green Tea Leaves as a Natural Adsorbent for the Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions. *Air, Soil and Water Research* **2016**, *9*, ASWR.S35227, doi:10.4137/ASWR.S35227.
18. Gupta, A.; Balomajumder, C. Simultaneous Adsorption of Cr(VI) and Phenol onto Tea Waste Biomass from Binary Mixture: Multicomponent Adsorption, Thermodynamic and Kinetic Study. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2015**, *3*, 785–796, doi:10.1016/j.jece.2015.03.003.
19. Atkins, P.W. *Kimia Fisika Jilid 2*; Ed. IV.; Erlangga, 1999;
20. Sun, W.; Selim, H.M. Chapter Two - Fate and Transport of Molybdenum in Soils: Kinetic Modeling. In *Advances in Agronomy*; Sparks, D.L., Ed.; Academic Press, 2020; Vol. 164, pp. 51–92.