



PEMANFAATAN AMPAS KOPI SARING SEBAGAI ARANG AKTIF DALAM MENYERAP LOGAM KHROMIUM VI (Cr^{6+})

Ridha Prasatia, Meriatna*, Masrullita, Jalaluddin, Zainuddin Ginting

Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

Korespondensi: e-mail: meriatna@unimal.ac.id

Abstrak

Kromium VI (kromium heksavalen) adalah bentuk senyawa dari unsur yang dihasilkan oleh proses industri. Logam berat ini dianggap sebagai karsinogen manusia dan berhubungan dengan berbagai masalah kesehatan. Paparan kromium VI dapat terjadi melalui inhalasi, konsumsi, dan kontak kulit. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh logam berat terlarut adalah adsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu dan massa terhadap pemurnian logam Cr^{6+} , serta mengetahui model isotherm yang digunakan. Penelitian ini sudah pernah dilakukan sebelumnya menggunakan adsorben dari kopi robusta dan menyerap logam Cr^{6+} dalam limbah cair batik, pada penelitian ini menggunakan ampas kopi saring dan larutan kalium dichromate. Adapun variabel yang divariasikan pada proses adsorpsi ini dengan massa 2,5; 3 dan 3,5 gram pada waktu 30, 60, 90, 120, 150 menit. ampas kopi saring dihaluskan terlebih dulu, kemudian dimasukkan kedalam furnace pada suhu 300°C selama 4 jam setelah itu diaktivasi dengan HCl. Larutan kalium dichromate disiapkan kemudian dimasukkan adsorben yang telah diaktivasi sesuai dengan variasi massa yang telah ditentukan, aduk menggunakan stirrer dengan kecepatan 150 rpm sesuai dengan variasi waktu yang telah ditetapkan. Hasil terbaik dari penelitian diperoleh penurunan konsentrasi larutan kalium dichromate 4,9386 ppm, kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 0,191548 mg/g, efisiensi adsorpsi sebesar 8,231%, hasil terbaik didapatkan pada variable massa adsorben 3,5 gram, dan waktu adsorpsi 150 menit. Model isotherm yang digunakan adalah isotherm Freundlich dengan nilai R^2 0,9943. Pengujian FTIR ampas kopi saring memiliki gugus fungsi dari mineral karbonat, alkana, gugus C-C, C-O, $\text{C}\equiv\text{N}$, C-Br yang dapat berperan penting dalam proses adsorpsi.

Kata₁ Kunci: Adsorben, Adsorpsi, Ampas kopi saring, Freundlich, FTIR, HCl, Langmuir, Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

DOI : <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i1.12128>

1. Pendahuluan

Pesatnya pertumbuhan industri yang seharusnya membuat hidup lebih mudah saat ini justru menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Pencemaran disebabkan oleh adanya limbah yang dibuang sembarangan. Hal ini menyebabkan pencemaran yang terjadi pada air yang akan memusnahkan makhluk hidup di dalam air yang paling berbahaya bagi masyarakat di sepanjang sungai yang menggunakan air sebagai kebutuhan hidup.

Limbah cair mengandung logam berat dan beracun. Kontaminan logam berat yang terdapat pada limbah industri antara lain merkuri, tembaga, timbal, kromium, seng, kadmium, uranium, selenium, tembaga, nikel (Ratnawati dkk., 2010). Pengelolaan limbah industri harus dilakukan dengan baik dan profesional. Pengolahan air limbah kawasan industri dilakukan dengan tujuan menghilangkan bahan pencemar dalam air limbah sampai batas yang diperbolehkan untuk dibuang ke air sesuai dengan persyaratan peraturan perizinan (Nursidiq dkk., 2021).

Beberapa metode yang digunakan untuk menghilangkan polusi logam berat terlarut antara lain sedimentasi, pertukaran ion, filtrasi membran, reduksi elektrolitik, dan adsorpsi. Namun, proses adsorpsi merupakan metode yang efektif untuk mengurangi pencemaran logam berat air limbah. Metode adsorpsi bisa bersifat reversibel sehingga penggunaannya lebih ekonomis (Siregar, 2009).

Banyak bahan organik yang telah terbukti dapat digunakan sebagai adsorben atau pengikat logam berat dalam air, seperti cangkang buah kakao (Moelyaningrum dkk., 2013), kulit durian (Zarkasi dkk., 2018), ampas tebu (Annisa dkk., 2023), sekam padi (Qomariyah & Hidayah, 2021) (Meriatna dkk., 2021), kulit jagung (Apriliani & Narwati, Triastuti, 2017), pelepah pisang (Chandra dkk., 2022), cangkang kelapa sawit (Fitriani dkk., 2017) (Meriatna dkk., 2020), dan mahkota nanas (Munira dkk., 2022).

Ampas kopi saring merupakan bahan organik yang mudah didapat yang dapat diubah menjadi karbon aktif untuk digunakan sebagai penyerap atau bahan adsorben (Baryatik dkk., 2016). Penggunaan karbon aktif dari ampas kopi sebagai adsorben mampu mereduksi ion besi pada air minum hingga 99,34%

(Huda dkk., 2015), dan menyerap logam merkuri hingga 99%. Kandungan ampas kopi meliputi 47,8-58,9% total karbon; jumlah nitrogen 1,9-2,3%; protein 6,7-13,6g/100g; abu 0,43-1,6%; selulosa 8,6% (Moelyaningrum, 2019).

Berdasarkan penelitian (Baryatik dkk., 2016), kemampuan optimum dalam menyerap logam Cr pada limbah cair batik menggunakan adsorben ampas kopi robusta sebesar 4%. A`yunina dkk., (2022) pengurangan kadar khromium dalam limbah cair batik menggunakan adsorben arang aktif tempurung kelapa (*cocos nucifera*) sebesar 73,52%. Al Indis, (2021) kapasitas adsorpsi adsorben arang aktif biji nyamplung dalam menyerap logam Cr sebesar 8,57 mg/g. Adriansyah dkk., (2018) kapasitas biosorpsi maksimum dalam menyerap logam Cu dan Cr menggunakan biosorben kulit kopi terxanthasi berturut-turut sebesar sebesar 62.5 dan 8.064 mg/g. Penelitian ini mengkaji kemampuan adsorben arang aktif ampas kopi saring dalam menyerap logam Cr⁶⁺. Dimana pada penelitian ini digunakan aktivasi dari larutan HCl, kemudian digunakan massa dan waktu kontak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi waktu dan massa terhadap pengurangan logam Cr⁶⁺, serta mengetahui model isotherm yang digunakan.

2. Bahan dan Metode

Bahan dan alat yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa larutan kalium dikromate (K₂Cr₂O₇), ampas kopi saring, HCl 2M, Aquadest, neraca analitik, aluminium foil, kertas saring, oven, pengaduk magnetik *stirer*, *beaker glass*, *erlenmeyer*, belender, *hot plate*, spatula, ayakan mesh 80, dan labu ukur.

Penelitian ini meliputi dua proses yaitu pembuatan adsorben dari ampas kopi saring yang di aktivasi, dan adsorpsi larutan kalium dikromate. Variasi percobaan ini dilakukan berdasarkan waktu reaksi 30, 60, 90, 120 dan 150 menit dan massa Adsorben 2,5; 3 dan 3,5 gram.

Pembuatan adsorben diawali dengan pencucian ampas kopi saring lalu di oven selama 60 menit pada temperatur 100°C, kemudian ampas kopi saring di crusher dan di ayak menggunakan mesh 80. Untuk proses pembuatan arang aktif ampas kopi saring dimasukkan kedalam furnace dengan suhu 300°C waktu 4 jam. Setelah itu dilakukan aktivasi kimia dengan cara mencampurkan arang ampas

kopi saring dengan HCl 2M kedalam *beaker glass* dengan perbandingan 3:1 aduk dan diamkan selama 6 jam dan cuci dengan *aquades* agar netral dari HCl lalu dikeringkan.

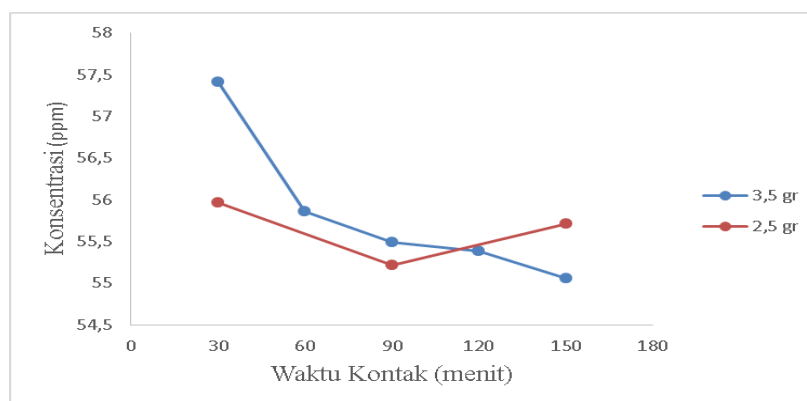
Proses pembuatan larutan kromium (Cr) 100 ml dengan konsentrasi 60 ppm diawali dengan dimasukkan kalium dikromate ($K_2Cr_2O_7$) sebanyak 6 mg kedalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan *aquades* sebanyak 100 mL dan homogenkan.

Proses adsorpsi dilakukan dengan memasukkan adsorben yang telah di aktivasi variasi yang ditentukan (2,5; 3 dan 3,5 gram) kedalam *beaker glass*, kemudiann tambahkan larutan kalium dikromate sebanyak 100 mL dan aduk menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 150 rpm dan waktu sesuai variasi yang ditentukan (30, 60, 90, 120 dan 150 menit). Setelah itu diamkan 5 menit kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtrat dengan adsorbennya.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi Terhadap Konsentrasi Larutan Setelah di Adsorpsi

Pengaruh massa adsorben dan waktu adsorpsi terhadap konsentrasi larutan setelah di adsorpsi bisa dilihat pada gambar 1



Gambar 1 Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi Terhadap Konsentrasi Larutan Setelah di Adsorpsi

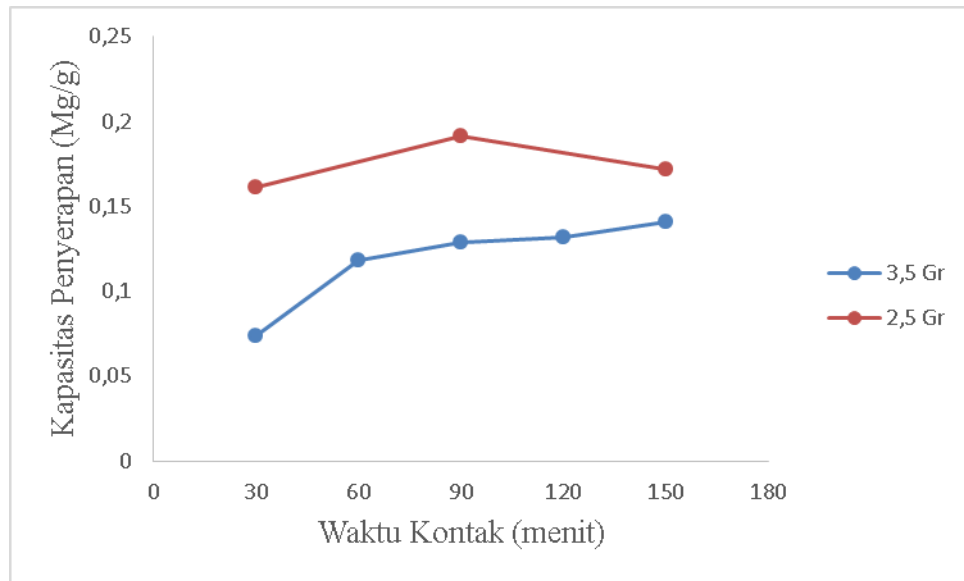
Berdasarkan Gambar 1 konsentrasi maksimum didapat pada waktu kontak 30 menit dan massa 3,5 gram sebesar 55,7077 ppm. Konsentrasi minimum

setelah diadsorpsi di dapat dengan waktu kontak 150 menit, pada waktu 150 dan massa 3,5 gram, konsentrasi setelah diadsorpsi adalah 55,0614 ppm.

Massa Adsorben juga berpengaruh besar, semakin sedikit massa adsorben yang digunakan maka semakin besar konsentrasi setelah di adsorpsi, begitu juga sebaliknya semakin banyak massa adsorben yang digunakan maka semakin kecil konsentrasi setelah di adsorpsi. Akan tetapi, pada massa 2,5 gram di menit 90 ke 150 menit terjadi penurunan penyerapan dari yang mula 55,2113 menjadi 55,7077 ppm. Hal ini karena semakin lama waktu kontak, maka logam Cr^{6+} yang terserap pada adsorben akan menumpuk dan luas permukaan adsorben akan berkurang sehingga adsorben tidak mampu mengadsorpsi logam Cr^{6+} sehingga logam Cr^{6+} akan terdesorpsi kembali kedalam larutan. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh (Lestari dkk., 2020), semakin lama waktu kontak maka semakin banyak logam yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan adsorben bersentuhan dengan logam tersebut. Namun, ketika adsorben jenuh, waktu kontak tidak lagi mempengaruhi penyerapan. Penurunan konsentrasi logam teradsorpsi terjadi karena semakin banyak logam yang ditambahkan pada adsorben maka akan terakumulasi dan luas permukaan adsorben berkurang yang membuat adsorben tidak mampu lagi menyerap logam sehingga logam yang berikatan pada adsorben akan terdesorpsi ke larutan (Irawan dkk., 2015).

3.2 Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Terhadap Kapasitas Penyerapan

Pengaruh massa adsorben dan waktu terhadap kapasitas penyerapan dapat dilihat dari gambar 2

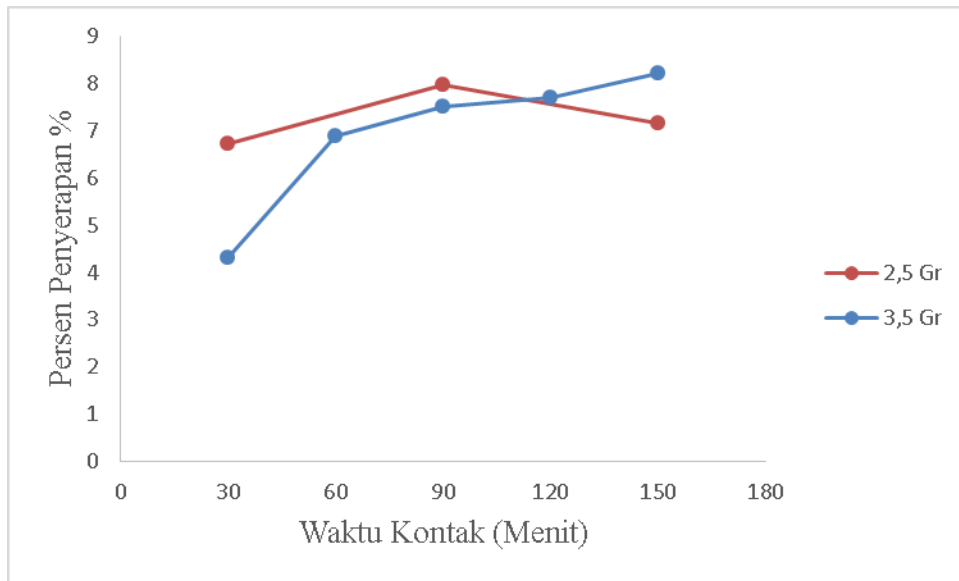


Gambar 2 pengaruh massa adsorben dan waktu terhadap kapasitas penyerapan

Besarnya massa adsorben dan waktu adsorpsi yang digunakan mempengaruhi kapasitas adsorpsi larutan kalium dikromat. Gambar 2 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi meningkat dengan perpanjangan waktu kontak. Kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh dengan total adsorben 2,5 gram dan waktu adsorpsi 90 menit, sedangkan kapasitas adsorpsi 0,191548 mg/g. Akan tetapi semakin lama waktu adsorben kapasitas adsorpsi mengalami penurunan, hal ini berbanding terbalik dengan massa adsorben 3,5 gram. Karena terlalu banyak massa adsorben, maka akan mengurangi kapasitas adsorpsi. Penurunan kapasitas adsorpsi disebabkan oleh bagian aktif adsorben yang tidak terikat pada adsorbat (Ngapa & Ika, 2020).

3.3 Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Terhadap Porsen Penyerapan

Pengaruh massa adsorben dan waktu terhadap porsen penyerapan dapat dilihat pada gambar 3

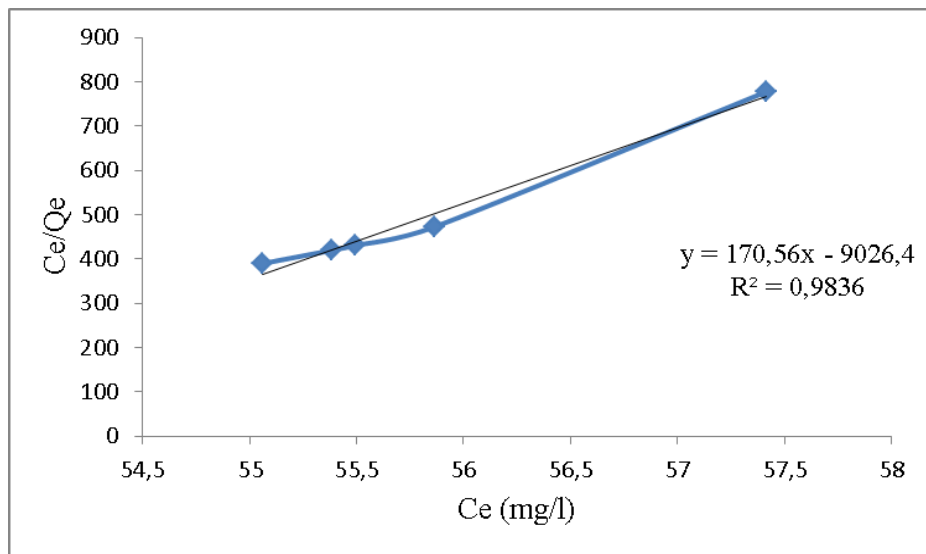


Gambar 3 Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi Terhadap Persen Penyerapan Setelah di Adsorpsi

Efisiensi adsorpsi pada massa adsorben 3,5 gram menunjukkan nilai yang terus meningkat dari 4,3% menjadi 8,2% pada massa adsorben 3,5 gram dan waktu adsorpsi 150 menit. Hal ini menunjukkan semakin besar massa adsorben dan semakin lama waktu adsorpsi maka persen penyerapan juga ikut meningkat. Sedangkan pada massa 2,5 gram dan waktu 150 menit persen penyerapan mengalami penurunan. Berdasarkan pernyataan (Takarani dkk., 2019) hal ini terjadi karena ketika batas waktu optimal terlampaui, penyerapan logam akan terdesorpsi kembali. Hal ini disebabkan semakin banyaknya logam yang berikatan pada adsorben maka akan saling menumpuk dan luas permukaan adsorben semakin berkurang yang menyebabkan adsorben tidak mampu menyerap logam kembali sehingga logam yang awalnya sudah terikat pada adsorben akan terlepas kembali ke dalam larutan atau yang disebut jenuh.

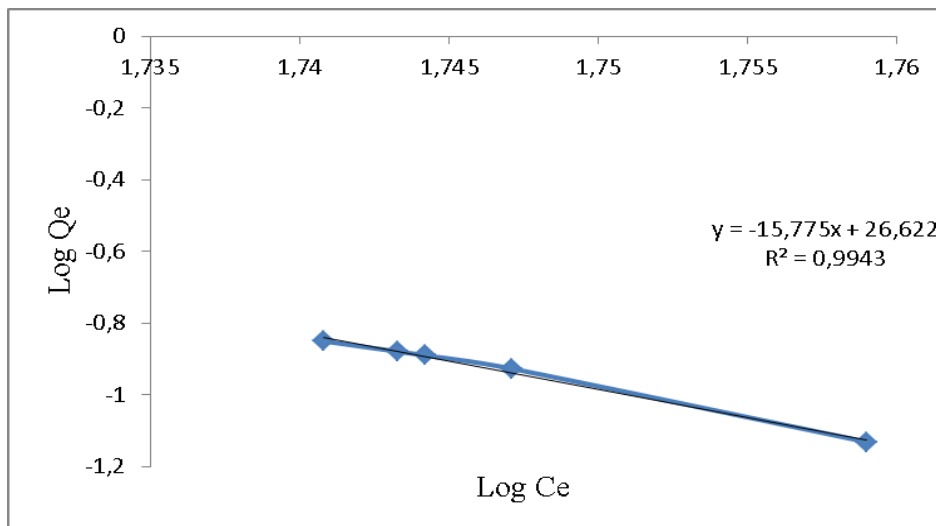
3.4 Isoterm Adsorpsi

Grafik isotherm adsorpsi logam Cr^{6+} menggunakan adsorben arang aktif ampas kopi saring dapat dilihat pada pada gambar 4 dan 5 dibawah ini



Gambar 4 Kurva Isoterm *langmuir*

Gambar 4 adalah grafik model isotermal *Langmuir* yang didapat dengan membangun hubungan antara C_e/Q_e dan C_e , hasil *plotting* dari data yang diperoleh dari perhitungan di dapatkan R^2 sebesar 0,9836.



Gambar 5 Kurva Isoterm *freundlich*

Gambar 5 merupakan pola *Isoterm Freundlich* dibuat dengan cara membuat hubungan antara $\text{Log } Q_e$ dan $\text{Log } C_e$, hasil *plotting* dari data yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan di dapatkan R^2 sebesar 0,9943.

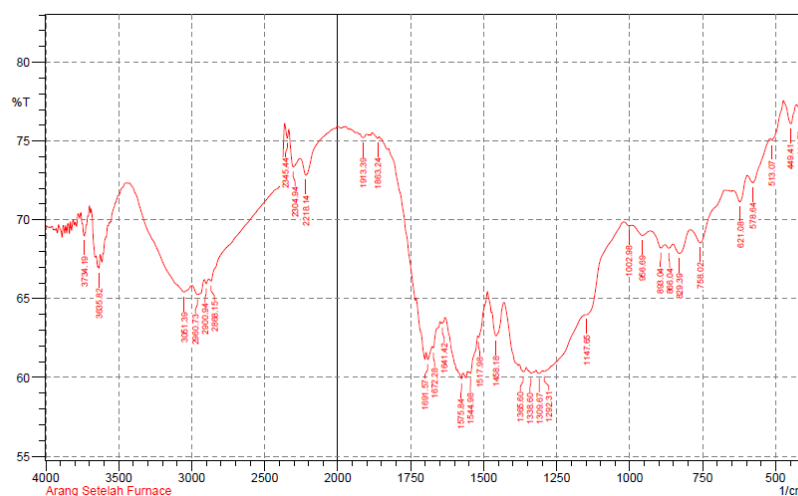
Dari Gambar 4 dan 5 terlihat bahwa pengujian persamaan *Langmuir* dan *Freundlich* memiliki *linearisasi* yang berbeda. Persamaan *Langmuir* memiliki

nilai R^2 sebesar 0,9836 dan persamaan *Freundlich* memiliki nilai R^2 sebesar 0,9943. Berdasarkan nilai linier tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi larutan kalium dikromat menggunakan arang aktif ampas kopi saring mengikuti model adsorpsi isotermal *Freundlich*. Hal ini ditunjukkan dengan skema linierisasi yang baik dan memiliki jumlah keputusan R yang paling mendekati angka 1. Nilai linier *isoterm* adsorpsi *Freundlich* lebih besar daripada *isoterm* adsorpsi *Langmuir*, sehingga model *isoterm* adsorpsi *Freundlich* lebih cocok untuk mengkarakterisasi mekanisme adsorpsi penyerapan logam Cr^{6+} dalam larutan kalium dikromat menggunakan adsorben arang aktif ampas kopi saring.

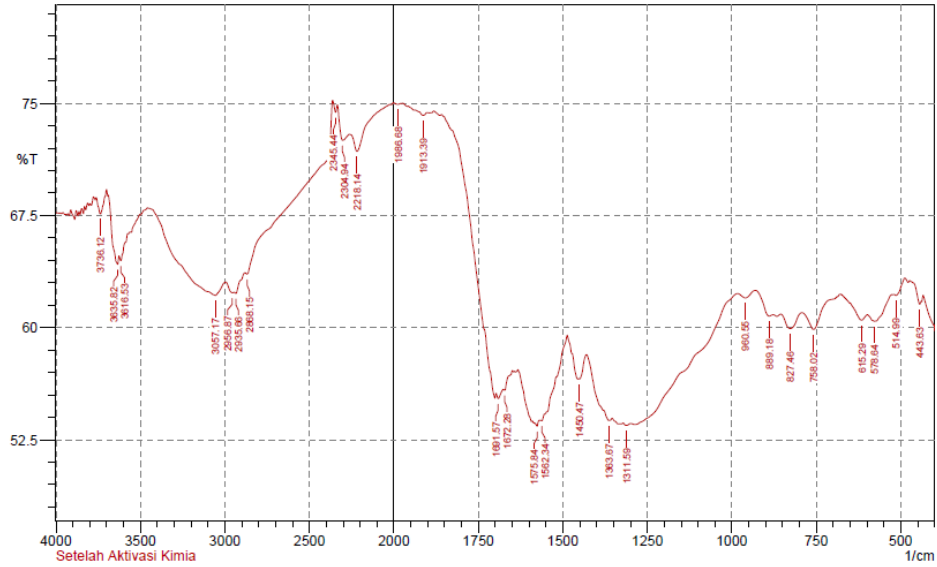
Nilai R^2 menunjukkan bahwa persamaan *Freundlich* cocok diterapkan pada sistem adsorpsi logam Cr^{6+} menggunakan adsorben arang aktif ampas kopi saring. *Isoterm Freundlich* menggambarkan kecocokan yang lebih baik antara data eksperimen dan kecocokan model daripada model *Langmuir*.

3.5 Karakteristik Menggunakan FTIR

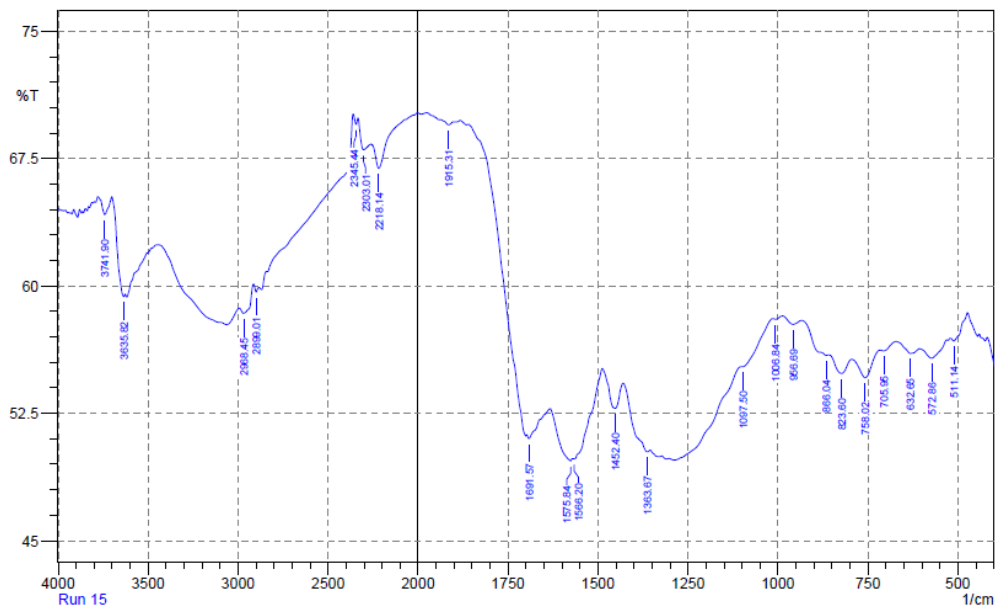
Sampel ampas kopi saring setelah di furnace, setelah aktivasi dengan HCl dan setelah di adsorpsi, dianalisis dengan metode FTIR. Di mana dilakukan pengujian gugs fungsi yang berfungsi dengan baik dilakukan dengan mendefinisikan spektrum serapan dari spektrum inframerah. Spektrum yang diperoleh terlihat pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8



Gambar 6 Spektrum FTIR Pada Adsorben Setelah Di Furnance



Gambar 7 Spektrum FTIR Pada Adsorben Setelah Diaktivasi dengan HCl



Gambar 8 Spektrum FTIR Pada Adsorben Setelah Mengadsorbsi larutan kalium *dichromate*

Analisis FTIR memungkinkan untuk menentukan gugus fungsi spesifik dari adsorben. Dari spektrum terlihat bahwa arang aktif ampas kopi saring memiliki gugus fungsi yang sama dengan mineral karbonat yang bekerja pada bilangan gelombang 1691,57 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus karboksil

(C=O) yang disebut karbonat (CO_3). Pada bilangan gelombang $3616,53 \text{ cm}^{-1}$ dan $3635,82 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terbentuknya gugus hidroksil. Pada puncak serapan $2868,14$; $2900,94$; $2960,73$; $1365,60$; $1458,18$; $2868,15$; $2935,66$; $2956,87$; $1363,67$; $1450,47$; $2899,01$; $2968,45$; $1363,67$; $1452,40 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi C-H dari alkana pada daerah serapan $2850 \text{ cm}^{-1} - 2970 \text{ cm}^{-1}$ dan $1340 \text{ cm}^{-1} - 1470 \text{ cm}^{-1}$. Pada puncak serapan $2218,14 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $\text{C}\equiv\text{N}$ dari nitril pada daerah serapan $2210-2280 \text{ cm}^{-1}$. Pada puncak serapan $1517,98$; $1544,98$; $1575,84$; $1562,34$; $1575,84$; $1566,20 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C=C dari cincin aromatik pada daerah serapan $1500-1600 \text{ cm}^{-1}$.

Pada Gambar 7 terbentuk gugus fungsi alkana (C-H) baru pada daerah serapan $3616,53 \text{ cm}^{-1}$, terjadi perubahan gelombang alkana menjadi $2935,66 \text{ cm}^{-1}$, $2956,87 \text{ cm}^{-1}$, $1363,67 \text{ cm}^{-1}$ dan $1450,47 \text{ cm}^{-1}$. Pada gugus C=C dari cincin aromatic terjadi perubahan gelombang menjadi $1562,34 \text{ cm}^{-1}$ dan $1575,84 \text{ cm}^{-1}$.

Pada Gambar 8 terjadi perubahan gelombang serapan pada gugus alkana (C-H) menjadi $2899,01 \text{ cm}^{-1}$, $2968,45 \text{ cm}^{-1}$ dan $1452,40 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya serapan dari gugus aldehyd (Ahmad Faris Fauzi, 2018). Pada gugus C=C dari cincin aromatic terjadi perubahan gelombang menjadi $1566,20 \text{ cm}^{-1}$.

Pada Gambar 6 gugus fungsi C-O terdapat 3 pita serapan dimana pita serapannya pada $1002,98 \text{ cm}^{-1} - 1292,31 \text{ cm}^{-1}$. Pada Gambar 7 tidak terdapat gugus fungsi C-O. Dan pada Gambar 8 terdapat 2 gugus fungsi C-O yang mana panjang pita serapannya yaitu $1008,84 \text{ cm}^{-1}$ dan $1097,50 \text{ cm}^{-1}$.

Terdapat gugus fungsi C-Br pada Gambar 6, 7 dan 8 dengan pita serapan yang berbeda-beda. Dimana pada Gambar 6 gugus fungsi C-Br memiliki pita serapan $621,08 \text{ cm}^{-1}$, kemudian pada Gambar 7 gugus fungsi C-Br mengalami penurunan panjang gelombang dimana pita serapannya $615,29 \text{ cm}^{-1}$ dan pada Gambar 8 gugus fungsi C-Br mengalami kenaikan dengan panjang pita serapan yaitu $632,66 \text{ cm}^{-1}$.

Dari data yang diperoleh dari spektrum FTIR memungkinkan arang aktif ampas kopi saring dapat digunakan sebagai adsorben, karena memiliki gugus fungsi yang dapat menyerap logam dan sifatnya yang mudah ditemukan. Adsorben setelah aktivasi kimia memiliki pori-pori serapan yang lebih besar

daripada adsorben aktif fisik saja, dan adsorben setelah adsorpsi memiliki gugus fungsi yang lebih besar, hal ini menunjukkan bahwa sejumlah besar ion dalam larutan mengadsorpsi kalium dikromat. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi kimia membuat lubang penyerapan dan adsorpsi menjadi lebih baik.

4. Simpulan dan Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyerapan maksimum terjadi pada waktu kontak 150 menit dengan Massa Adsorben 3,5 gram dan penyerapan minimum terjadi pada waktu kontak 30 menit dengan Massa Adsorben 3,5.
2. Kadar penyerapan maksimum pada biosorpsi ampas kopi saring terhadap logam Cr^{6+} diperoleh sebesar 8,231% dengan waktu kontak maksimum yaitu 150 menit dan massa adsorben maksimum yaitu 3,5 gram. Waktu kontak dan massa adsorben berpengaruh besar dalam kapasitas penyerapan logam Cr^{6+} dimana kapasitas penyerapan maksimum diperoleh sebesar 0,191548 mg/g pada waktu kontak yaitu 90 menit dan massa adsorben 2,5 gram.
3. Penyerapan yang terjadi dengan menggunakan biosorben ampas kopi saring terhadap logam berat Cr^{6+} mengacu kepada persamaan isoterm *Langmuir* dengan R^2 0,7433 yang diduga bahwa penyerapan terjadi pada lapisan permukaan adsorben yang terjadi karena adanya proses pertukaran ion.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan aktivasi kimia menggunakan HCl 2M. Diharapkan pada penelitian selanjutnya digunakan aktivasi menggunakan menggunakan basa. Dan diharapkan pada penelitian selanjutnya juga bisa dilanjutkan untuk menganalisa karakteristik biosorben dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk melihat morfologi dan porositas.

5. Daftar Pustaka

- A`yunina, U., Moelyaningrum, A. D., & Ellyke, E. (2022). Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) untuk Mengikat Kromium (Cr) (Study Pada Limbah Cair Batik). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 93–98. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>
- Adriansyah, R., Novta Restiasih, E., & Meileza, N. (2018). Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dan Cr(VI) Menggunakan Biosorben Kulit Kopi Terxanthasi. *Alotrop*, 2(2), 114–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.33369/atp.v2i2.7478>
- [Ahmad Faris Fauzi, and L. U. (2018). Effect of pH on Biosorption Ion Cd(II) in Solutions using Lengkuas Merah (*Alpinia Galanga*). *October*, 53(7), 401–405. ISBN: 0818649607
- Al Indis, N. (2021). Potensi Arang Aktif yang Terbuat dari Kulit Biji Nyamplung Sebagai Adsorben Logam Berat Kromium (VI). *Journal Science Innovation and Technology (SINTECH)*, 2(1), 35–41. <https://doi.org/10.47701/sintech.v2i1.1579>
- Apriliani, D. E., & Narwati, Triastuti, E. (2017). Bioadsorben kulit jagung (*Zea Mays ssp. mays*) untuk menurunkan fosfat (PO₄³⁻) pada limbah cair. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, VIII(4), 235–240. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33846/sf8410>
- Baryatik, P., Pujiati, R. S., & Ellyke. (2016). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr) pada Limbah Cair Batik (Studi Kasus Industri Batik UD. Pakem Sari Desa Sumber pakem Kecamatan Sumber jambe Kabupaten Jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa*. <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/jtllb.v7i1.31115>
- Chandra, G., Nugraha, W., & Rahayu, L. H. (2022). *KEPOK KUNING UNTUK PENYISIHAN LOGAM KROM (Cr VI)*. 3(Vi), 14–18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.56444/cjce.v3i1.3048>
- Huda, H., Ardi, Z., & Johansyah, A. (2015). Studi Kinetika Adsorpsi Nilai Besi Pada Air Sumur Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Kopi. *Jurnal IPTEK*, 19(2), 49–58. ISSN: 1411-7010
- [Irawan, C., Dahlan, B., & Retno, N. (2015). Pengaruh Massa Adsorben, Lama Kontak Dan Aktivasi Adsorben Menggunakan HCl Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat (Fe) Dengan Menggunakan Abu Layang Sebagai Adsorben. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 3(2). <https://doi.org/10.32487/jtt.v3i2.89>
- Lestari, I., Mahraja, M., Farid, F., Gusti, D. R., & Permana, E. (2020). PENYERAPAN ION Pb(II) MENGGUNAKAN ADSORBEN DARI LIMBAH PADAT LUMPUR AKTIF PENGOLAHAN AIR MINUM.

Chemistry Progress, 13(2). <https://doi.org/10.35799/cp.13.2.2020.31391>

- Meriatna, M., Afriani, R., Maulinda, L., Suryati, S., & Zulmiardi, Z. (2021). OPTIMASI ADSORPSI ION Pb^{2+} MENGGUNAKAN KARBON AKTIF SEKAM PADI PADA FIXED BED COLUMN DENGAN PENDEKATAN RSM (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 100. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4182>
- Meriatna, M., Sylvia, N., Seregar, F. S., Maulinda, L., & Zulmiardi, Z. (2020). Optimasi Kondisi Proses Adsorpsi Untuk Meningkatkan Kualitas Cpo Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Sisa Pembakaran Cangkang Kelapa Sawit Pada Batch Column. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(1), 14. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i1.3032>
- Moelyaningrum, Anita Dewi, Yuniar Sulisty, D. W. S. (2013). Potensi Limbah Kulit Kakao (Theobroma Cacao) Sebagai Pengikat Cemar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air. *Sumber Dana Kerjasama DIPA Universitas Jember Tahun Anggaran 2013 Nomor DIPA- 023.04.2.414.995/2013*, 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>
- Moelyaningrum, A. D. (2019). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Kadmium Pada Air Sumur (The Usage of Coffee Waste Activated Charcoal as Adsorbent of Cadmium in Well Water). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 7(1), 011. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v7i1.31115>
- [15] Munira, M., Arman, M., Syarif, T., Gusnawati, G., & Darnengsih, D. (2022). Karakterisasi Dan Modifikasi Karbon Aktif Dari Mahkota Nanas Sebagai Bioadsorben. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(2), 123–129. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v7i2.1410>
- Ngapa, Y. D., & Ika, Y. E. (2020). Optimasi Adsorpsi Kompetitif Pewarna Biru Metilena dan Metil Oranye Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Ende - Nusa Tenggara Timur (NTT). *Indo. J. Chem. Res.*, 8(2), 151–159. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.8-ydn>
- Novi Sylvia , Meriatna, Lukman Hakim, Fitriani, A. F. (2017). KINERJA KOLOM ADSORPSI PADA PENJERAPAN TIMBAL (Pb^{2+}) DALAM LIMBAH ARTIFISIAL MENGGUNAKAN CANGKANG KERNEL SAWIT. 6(4), 185–190. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36055/jip.v6i4.2549>
- Nur Annisa, Muhammad, Masrullita, Zulnazri, R. D. (2023). PEMANFAATAN LIMBAH AMPAS TEBU SEBAGAI ADSORBEN PENYERAPAN LOGAM DAN KESADAHAN PADA AIR SUMUR. 1(April), 139–150. <https://doi.org/https://doi.org/10.29103/cejs.v3i1.8013>
- Nursidiq, M., Hadi, M. S., Lubis, M. M., & Riza, F. (2021). Pengelolaan Limbah Industri Sebagai Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan Pada Masyarakat Kelurahan Tangkahan Di Kawasan Industri Modern Medan.

Ihsan: *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 90–102.
<https://doi.org/10.30596/ihsan.v3i1.6819>

Qomariyah, A., & Hidayah, R. (2021). Abu Limbah Sekam Padi sebagai Bioadsorben yang Efektif untuk Logam Timbal dalam Tanah. *Fullerene Journ. Of Chem*, 6(2), 81–88. <https://doi.org/10.37033/fjc.v6i2.273>

Ratnawati, E., Ermawati, R., & Naimah, S. (2010). Teknologi Biosorpsi oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 32(1), 34. <https://doi.org/10.24817/jkk.v32i1.2739>

Siregar, T. H. (2009). Pengurangan Cemarkan Logam Berat Pada Perairan Dan Produk Perikanan Dengan Metode Adsorpsi. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 4(1), 24. <https://doi.org/10.15578/squalen.v4i1.153>

Takarani, P., Findia Novita, S., & Fathoni, R. (2019). Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung terhadap Konsentrasi Penyerapan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, 2(1), 117–121. ISSN: 2598-7429

Zarkasi, K., Dewi Moelyaningrum, A., & Trirahayu Ningrum, P. (2018). *PENGGUNAAN ARANG AKTIF KULIT DURIAN (Durio zibethinus Murr) TERHADAP TINGKAT ADSORPSI KROMIUM (Cr 6+) PADA LIMBAH BATIK*. 5, 67–73. ISSN: 0854-1922