

# Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis* L) Sebagai Adsorben Ion Besi ( $Fe^{2+}$ ) Dalam Air Sumur

Hikmah Maulida<sup>1\*</sup>, Elwina<sup>2</sup>, Fachraniah<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Kota Lhokseumawe

\*Koresponden email: hikmahmaulida164@gmail.com

## ABSTRACT

This research aims to utilize sweet orange peel waste as an adsorbent of  $Fe^{2+}$  in the form of activated carbon by reviewing the adsorbate characteristics based on absorption capacity of I<sub>2</sub>, moisture content and ash content, the effect of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KOH activators on adsorption capacity and removal efficiency of  $Fe^{2+}$  ion and adsorption kinetics of  $Fe^{2+}$  ion in well water samples. The fixed variable is the weight of the adsorbent, which is temperature of 315 °C, 50 grams, particle size of 10 ± 32 mesh, volume of adsorbate 10 liters and flow rate of 4 liters / minute. The independent variable is H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KOH activator and the adsorption time is 0; 10; 20; 30; 60; 90; 120; 150; 180; 210 and 240 minutes. The results showed that charcoal with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation met SNI 06-3730-1995 standards, while charcoal with KOH activation did not meet SNI standards. The equilibrium adsorption capacity (q<sub>e</sub>) for charcoal with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation of 0.284 mg/g occurred at 120 minutes, for charcoal with KOH activation of 0.587 mg/g occurred at 240 minutes. The highest removal efficiency of  $Fe^{2+}$  ions for activated charcoal H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> was 91.35% and KOH 68.39%. Adsorption kinetics fulfills the second order pseudo kinetics model, which is H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation charcoal with R<sup>2</sup> is 0.998 and KOH with R<sup>2</sup> is 0.9956.

Keywords— Adsorption capacity, adsorption kinetics, allowance efficiency.

## I. PENDAHULUAN

Masalah yang umumnya terjadi saat menggunakan air tanah adalah kandungan mineral. Seperti zat besi, mangan, air raksa, tembaga, seng dan lain-lain. Pada umumnya zat besi yang terdapat dalam air bersifat terlarut. Kandungan ion Fe pada air sumur bor berkisar antara 5-7 mg/l. Disisi lain persoalan sampah saat ini masih menjadi masalah utama terhadap kelestarian lingkungan. Dari berbagai macam jenis sampah, kulit jeruk termasuk jenis sampah, Sehingga jika dibiarkan saja akan meningkatkan kapasitas limbah padat yang menjadi salah satu faktor pencemar lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam menekan kerusakan alam akibat dari limbah padat tersebut, yaitu dengan memanfaatkannya sebagai salah satu karbon aktif yang dapat mengadsorpsi logam berat yang terdapat dalam limbah cair.

Karbon aktif merupakan karbon padat yang mempunyai luas permukaan sangat tinggi. Daya serap yang dimiliki oleh karbon aktif ditentukan oleh luas permukaan partikel. Kemampuan daya serap ini dapat meningkat jika diberikan perlakuan terhadap arang tersebut berupa aktivasi dengan menggunakan aktivator bahan-bahan kimia maupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Aktivasi bahan kimia membutuhkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivasi fisik, karena aktivasi kimia menggunakan bahan kimia pereaksi dan asam atau basa dalam netralisasi pH karbon aktif. Namun aktivasi bahan kimia membutuhkan suhu yang lebih rendah, sehingga mengurangi penggunaan energi. Dan juga karbon aktif yang diaktivasi menggunakan bahan kimia memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif yang diaktivasi secara fisik. Oleh karena itu, aktivasi secara kimia lebih luas diterapkan dalam persiapan karbon aktif.

Faktanya kulit jeruk memiliki banyak manfaat jika diolah lebih lanjut. Sehingga sangat disayangkan jika kulit jeruk yang mempunyai banyak manfaat tersebut dibiarkan menjadi limbah. Salah satu cara pemanfaatan limbah kulit

jeruk adalah menjadi karbon aktif yang dapat mengadsorpsi logam berat yang terdapat dalam limbah cair.

Untuk menaikkan nilai tambah dari limbah kulit jeruk tersebut perlu dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari kulit jeruk. Salah satu penggunaan umum karbon aktif yaitu pada pemurnian air. Dalam air terdapat berbagai pencemar, diantara sekian banyak pencemar air ada yang beracun dan berbahaya serta dapat menyebabkan kematian.

Kulit jeruk secara fisik terbagi dua bagian utama yaitu flavedo (kulit bagian luar yang berbatasan dengan epidermis) dan albedo (kulit bagian dalam yang berupa jaringan busa). Flavedo ditandai dengan adanya warna oranye, kuning atau hijau. Albedo adalah jaringan seperti spon berwarna putih. Pada bagian albedo mengandung banyak selulosa, hemiselulosa, pektin, protein dan lemak. Bagian inilah yang sangat penting dari kulit jeruk sebagai pembuatan karbon aktif.

Penelitian yang telah dilakukan terdahulu telah menggunakan kulit jeruk keprok sebagai adsorben dan pewarna Remazol Brilliant Blue sebagai adsorbat serta aktivator yang digunakan berupa H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Hasil yang didapatkan adalah kondisi optimum pada waktu kontak 30 menit dengan massa karbon aktif 1 gram. Karbon aktif dari kulit jeruk keprok memiliki luas permukaan karbon aktif sebesar 529,17 mg/g berdasarkan daya serapnya terhadap larutan iodin [1]. Peneliti Guiza telah melakukan penelitian adsorpsi ion tembaga Cu<sup>2+</sup> dari air dengan memanfaatkan CWOP (Cellulosic Waste Orange Peel). Hasil yang didapat adalah kinetika adsorpsi relatif cepat dan equilibrium dicapai dalam 60 menit. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum (CWOP) untuk ion tembaga adalah 63 mg/g [2]. Sedangkan peneliti Aarathi, telah melakukan penelitian pembuatan OPAC (Orange Peel Activated Carbon) dengan menggunakan metode pirolisis untuk mengadsorpsi herbisida asam klorofenoksida dari air dan aktivator yang digunakan berupa KOH. Hasil yang diperoleh menunjukkan luas permukaan 592.471 m<sup>2</sup>/g, volume pori 0,242 cc/g dan diameter pori 1,301 nm [3].

Pada penelitian ini dilakukan aktivasi dengan memvariasikan jenis larutan aktivator berupa H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> &

KOH serta waktu adsorpsi 0; 10; 20; 30; 60; 90; 120; 150; 180; 210; 240 menit. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik adsorben berupa daya serap terhadap I<sub>2</sub>, kadar air, kadar abu dan dibandingkan dengan SNI 06-3730-1995, mengetahui pengaruh aktivator yang digunakan pada arang aktif terhadap kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan ion Fe<sup>2+</sup> serta menghitung karakteristik adsorbat berupa kinetika adsorpsi ion Fe<sup>2+</sup> dalam sampel air sumur.

## II. METODOLOGI PELAKSANAAN

### 2.1 Pembuatan Karbon Aktif

Kulit jeruk yang telah dipotong dengan ukuran 1 cm<sup>2</sup> dan dibersihkan lalu dijemur dengan sinar matahari dan dikeringkan dengan oven pada suhu 120 °C. Kulit jeruk yang telah kering dikarbonisasi secara pembakaran manual hingga suhu 315 °C menggunakan termometer bimetal. Arang diayak dengan ukuran melewati saringan 10 mesh dan tertahan pada saringan 32 mesh. Arang tersebut diaktivasi dengan variasi larutan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N dan KOH 1 N selama 24 jam. Kemudian arang aktif dinetralisasi hingga pH 7 dan dikeringkan pada 100 °C selama 4 jam.

### 2.2 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi menggunakan alat adsorpsi kolom tunggal dengan masing-masing adsorben arang dengan aktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH dimasukkan sebanyak 50 gram. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel tiap waktu adsorpsi 0; 10; 20; 30; 60; 90; 120; 150; 180; 210 dan 240 menit. Kemudian sampel tersebut dianalisa kadar ion Fe<sup>2+</sup> menggunakan peralatan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry).

### 2.3 Uji Daya Serap Terhadap Iodin

Arang aktif kering ditimbang sebanyak 0,25 gram dan dicampurkan dengan 25 ml larutan I<sub>2</sub> 0,1 N kemudian diaduk selama 15 menit menggunakan magnetic stirrer dan selanjutnya disaring menggunakan kertas saring. Filtrat diambil sebanyak 10 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml, lalu dititrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0,1 N hingga berwarna kuning muda lalu diberi 1 ml larutan amilum 1% dan titrasi dilanjutkan hingga warna biru hilang.

Daya serap terhadap iodin dihitung dengan persamaan:

$$DSI = \frac{(V_{\text{sampel}} - \frac{V_{\text{titrasi}} \times C_1}{C_2}) \times W \times 2,5}{m_{\text{sampel}}} \quad (1)$$

### 2.4 Uji Kadar Air

Alat moisture analyzer diatur pada suhu 120 °C. Arang aktif ditimbang sebanyak 5 gram. Penutup alat moisture analyzer ditutup dan ditekan tombol start. Setelah beberapa saat, kadar air akan terbaca oleh alat tersebut.

### 2.5 Uji Kadar Abu

Arang aktif ditimbang secara teliti sebanyak 3 gram yang telah dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam. Arang tersebut dibakar dalam furnace pada

suhu 600 °C sampai menjadi abu. Kadar abu dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat arang}} \times 100\% \quad (2)$$

### 2.6 Analisa Ion Fe<sup>2+</sup> Menggunakan AAS

Sampel 0 diambil sebagai larutan sampel awal. Sampel dimasukkan ke tempat pengujian sampel. Proses analisa dilakukan menggunakan alat AAS. Sampel selanjutnya diambil sesuai urutan waktu operasi dengan cara yang sama.

### 2.7 Analisa Kapasitas Adsorpsi

Persamaan adsorpsi selama proses penyerapan dihitung menggunakan rumus kapasitas adsorpsi:

$$q_t = \left( \frac{C_0 - C_t}{m} \right) \cdot V \quad (3)$$

Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan diperoleh secara eksperimental dan secara grafik.

$$\text{Orde 1} \quad \frac{d \cdot q_t}{d \cdot t} = k_1 \cdot (q_e - q_t) \quad (4)$$

$$\text{Orde 2} \quad \frac{d \cdot q_t}{d \cdot t} = k_2 \cdot (q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

### 2.8 Analisa Efisiensi Penyisihan Ion Fe<sup>2+</sup>

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai penyisihan ion Fe<sup>2+</sup> dari adsorbat yaitu harus terlebih dahulu mengetahui konsentrasi awal dan konsentrasi setiap waktu yang akan dianalisa.

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\% \quad (6)$$

Efisiensi penyisihan ion Fe<sup>2+</sup> pada kesetimbangan diperoleh secara eksperimental dan secara grafik.

Dimana :

- DSI = daya serap iodin (mg/g)
- V.sampel = volume filtrat yang dititrasi (10 ml)
- V.titrasi = volume titrasi Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ml)
- C<sub>1</sub> = konsentrasi Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (N)
- C<sub>2</sub> = konsentrasi Iodin (N)
- W = berat iod (12,69 mg/ml)
- 2,5 = Perbandingan 25 ml lar. I<sub>2</sub>/10 ml filtrat
- q<sub>t</sub> = kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g)
- q<sub>e</sub> = kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g)
- t = waktu adsorpsi (menit)
- k<sub>1</sub> = laju adsorpsi orde 1
- k<sub>2</sub> = laju adsorpsi orde 2
- C<sub>0</sub> = konsentrasi awal (mg/L)
- C<sub>t</sub> = konsentrasi adsorbat pada waktu t (mg/L)
- m = massa adsorben (g)
- V = volume adsorbat (L)

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Adsorben

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dari limbah kulit jeruk manis dalam menurunkan kadar Fe<sup>2+</sup> dari air sumur dilihat dari persen

penyisihan yang didapat serta pengaruh waktu adsorpsi dan aktivator yang digunakan. Untuk mengetahui karakteristik adsorben tersebut terhadap rentang nilai baku mutu karbon aktif berdasarkan syarat mutu karbon aktif SNI no. 06-3730-1995.

Tabel 1. Karakteristik adsorben

| Uraian                             | Satuan | Aktivator                      |        | SNI 06-3730-1995 |
|------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|------------------|
|                                    |        | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | KOH    |                  |
| Kadar air                          | %      | 8,26                           | 20,28  | Maks 15          |
| Kadar abu                          | %      | 3,33                           | 10     | Maks 10          |
| Daya serap terhadap I <sub>2</sub> | mg/g   | 799,47                         | 723,33 | Min 750          |

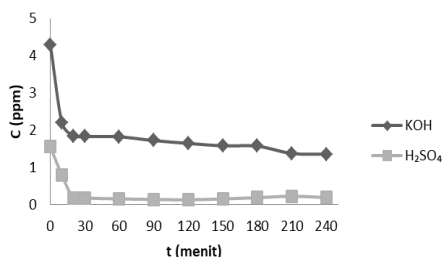
Hasil uji karakteristik arang aktif dari limbah kulit jeruk manis ditampilkan pada table 1. yaitu menunjukkan bahwa arang dengan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dari tiga pengujian memenuhi SNI 06-3730-1995. Sedangkan arang dengan aktivator KOH dari tiga pengujian hanya uji kadar abu yang memenuhi SNI 06-3730-1995.

### 3.2 Pengaruh Aktivator Pada Arang Aktif

Tabel 2. Konsentrasi ion Fe<sup>2+</sup> pada air sumur

| Waktu Adsorpsi (menit) | Konsentrasi Fe <sup>2+</sup> (ppm)      |              |
|------------------------|---|--------------|
|                        | Aktivasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Aktivasi KOH |
| 0                      | 1,5547                                  | 4,2930       |
| 10                     | 0,7922                                  | 2,2034       |
| 20                     | 0,1874                                  | 1,8493       |
| 30                     | 0,1810                                  | 1,8338       |
| 60                     | 0,1577                                  | 1,8247       |
| 90                     | 0,1435                                  | 1,7239       |
| 120                    | 0,1344                                  | 1,6490       |
| 150                    | 0,1577                                  | 1,5818       |
| 180                    | 0,1913                                  | 1,5740       |
| 210                    | 0,2301                                  | 1,3789       |
| 240                    | 0,1939                                  | 1,3569       |

Dari table 2. dapat di lihat bahwa pada kedua arang yang diaktivasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH terjadi penurunan konsentrasi ion Fe<sup>2+</sup> terhadap waktu.



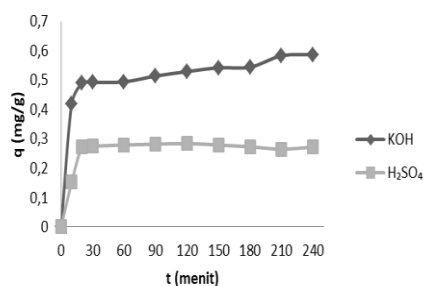
Gambar 1. Grafik konsentrasi Fe<sup>2+</sup> terhadap waktu

Semakin lama waktu adsorpsi maka konsentrasi ion Fe<sup>2+</sup> semakin menurun. Menurut penelitian [4] menyatakan hal ini dikarenakan aktivasi secara kimia menyebabkan struktur adsorben ada yang mengalami degradasi terutama struktur lignin, hemiselulosa, pori-pori adsorben menjadi terbuka dan tidak tertutup lagi dari bahan-bahan yang menutupi pori-pori. Sehingga kemampuan daya serapnya menjadi lebih baik.

Tabel 3. Kapasitas adsorpsi ion Fe<sup>2+</sup> pada air sumur

| Waktu Adsorpsi (menit) | Konsentrasi Fe <sup>2+</sup> (ppm)      |              |
|------------------------|---|--------------|
|                        | Aktivasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Aktivasi KOH |
| 0                      | 0                                       | 0            |
| 10                     | 0,152                                   | 0,418        |
| 20                     | 0,273                                   | 0,489        |
| 30                     | 0,275                                   | 0,492        |
| 60                     | 0,279                                   | 0,494        |
| 90                     | 0,282                                   | 0,514        |
| 120                    | 0,284                                   | 0,529        |
| 150                    | 0,279                                   | 0,542        |
| 180                    | 0,273                                   | 0,544        |
| 210                    | 0,265                                   | 0,583        |
| 240                    | 0,272                                   | 0,587        |

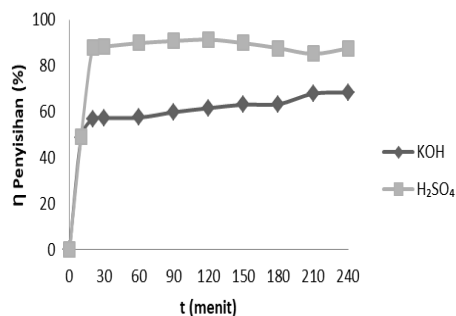
Dari tabel 3. dapat dilihat bahwa arang yang diaktivasi dengan KOH lebih besar kapasitas adsorpsinya dari pada arang dengan aktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi awal arang yang diaktivasi KOH jauh lebih tinggi dari pada arang yang diaktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



Gambar 2. Kapasitas adsorpsi ion Fe<sup>2+</sup>

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian terdahulu dimana semakin tinggi konsentrasi awal suatu ion maka semakin tinggi pula kapasitas adsorpsi suatu arang aktif [5]. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi suatu ion, berarti jumlah ion yang terlarut juga semakin besar sehingga semakin banyak pula jumlah ion yang terserap oleh situs-situs aktif pada karbon aktif.

Arang yang diaktivasi menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mempunyai efisiensi penyisihan Fe<sup>2+</sup> yang lebih tinggi dari pada arang yang diaktivasi menggunakan larutan KOH. Arang dengan aktivasi KOH mempunyai efisiensi penyisihan Fe<sup>2+</sup> terjadi pada waktu operasi 240 menit yaitu 68,39%. Arang dengan aktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> telah mencapai titik maksimum dari penyerapan pada waktu operasi 120 menit. Sehingga terjadi penurunan dan kenaikan efisiensi penyisihan ion Fe<sup>2+</sup> pada waktu operasi selanjutnya.



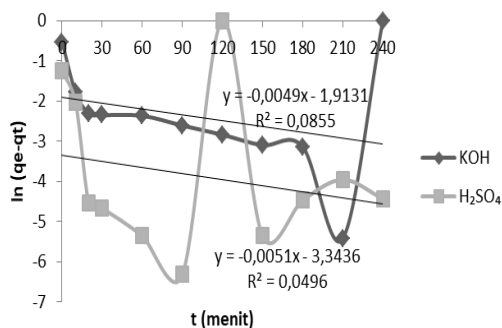
Gambar 3. Efisiensi penyisihan ion Fe<sup>2+</sup>

Hal ini dikarenakan tidak terjadi kesetimbangan adsorpsi yaitu suatu keadaan dinamis yang tidak tercapai

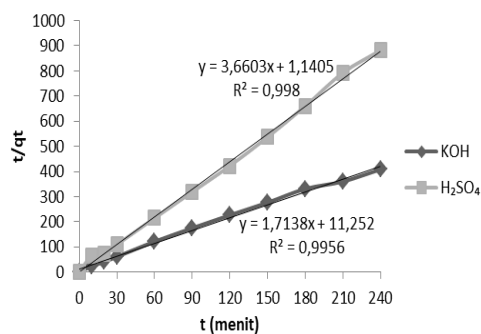
ketika laju partikel teradsorpsi ke permukaan sehingga tidak sama dengan laju desorpsinya. Jadi, waktu operasi yang tepat untuk adsorpsi ion  $Fe^{2+}$  dalam air sumur menggunakan arang aktif dari limbah kulit jeruk manis dengan aktivator  $H_2SO_4$  yaitu hingga 120 menit dengan efisiensi penyisihan ion  $Fe^{2+}$  yaitu 91,35%. Penelitian ini menunjukkan efisiensi penyisihan yang lebih baik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zaini & Sami pada tahun 2016 dengan menggunakan kulit kacang tanah sebagai adsorben Pb (II) yaitu 86,02% [4].

### 3.3 Kinetika Adsorpsi

Dalam penelitian ini digunakan air sumur dari Bayu sebagai adsorbat. Model kinetika yang digunakan berdasarkan percobaan pada masing-masing kinetika yaitu menggunakan kinetika Lagergren. Pada penelitian ini dikaji kinetika adsorpsi menggunakan karbon aktif dari limbah kulit jeruk manis pada penyerapan ion  $Fe^{2+}$  dengan perlakuan kimia yaitu aktivator  $H_2SO_4$  dan KOH.



Gambar 4. Kinetika adsorpsi orde 1



Gambar 5. Kinetika adsorpsi orde 2

Pada gambar 4, menunjukkan persamaan garis lurus pada perlakuan  $H_2SO_4$  didapat nilai  $R^2$  0,0496 dan pada perlakuan KOH diperoleh  $R^2$  0,0855. Hal ini menunjukkan bahwa model kinetika adsorpsi orde 1 kurang tepat penggunaannya dalam proses adsorpsi ini.

Pada gambar 5 menunjukkan persamaan garis lurus pada perlakuan  $H_2SO_4$  didapat nilai  $R^2$  0,998 dan pada perlakuan KOH diperoleh  $R^2$  0,9956. Hal ini menunjukkan bahwa model kinetika adsorpsi orde 2 lebih tepat penggunaannya dalam proses adsorpsi ini. Dan dari gambar tersebut menunjukkan bahwa  $R^2$  terbaik adalah arang dengan aktivasi  $H_2SO_4$ . Penelitian ini menunjukkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang lebih baik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zaini & Sami pada tahun

2016 dengan menggunakan kulit kacang tanah sebagai adsorben Pb (II) yaitu  $R^2$  0,9924 [4].

### IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian karakteristik karbon aktif dari kulit jeruk manis dengan aktivasi  $H_2SO_4$  memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Sedangkan karbon aktif dengan aktivasi KOH dari tiga pengujian hanya kadar abu yang memenuhi standar SNI.

Kapasitas adsorpsi terbaik adalah karbon aktif dengan aktivator KOH pada waktu 240 menit yaitu 0,587 mg/g. Sedangkan efisiensi penyisihan ion  $Fe^{2+}$  adalah karbon aktif dengan aktivator  $H_2SO_4$  pada waktu 120 menit yaitu 91,35%. Jadi, kondisi optimum adsorpsi terbaik adalah karbon aktif dengan aktivator  $H_2SO_4$  karena menunjukkan efisiensi penyisihan  $Fe^{2+}$  lebih besar, sedangkan karbon aktif dengan aktivator KOH mempunyai kapasitas adsorpsi lebih besar tetapi hal itu hanya disebabkan oleh konsentrasi awal  $Fe^{2+}$  yang tinggi.

Kinetika adsorpsi air sumur yang mengandung ion  $Fe^{2+}$  berlangsung sesuai dengan permodelan Lagergren yang dimodifikasi oleh Ho dan McKay pseudo orde dua dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) secara berurutan yang diaktivasi  $H_2SO_4$  adalah 0,998 dan KOH adalah 0,9956.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asriningtyas Ajeng Erprihana, Dhoni Hartanto, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Jeruk Keprok (*Citrus reticulata*) Untuk Adsorpsi Pewarna Remazol Brilliant Blue", Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol 3, Edisi 2, 2014.
- [2] Guiza, S., "Biosorption of heavy metal from aqueous solution using cellulosic waste orange peel", Ecological Engineering, Vol.99 pp.134-140, 2017.
- [3] Aarathi Pandiarajan, Ramakrishnan Kamaraj, Sudharshan Vasudevan, Subramanyan Vasudevan, "OPAC (orange peel activated carbon) derived from waste orange peel for the adsorption of chlorophenoxyacetic acid herbicides from water: Adsorption isotherm, kinetic modelling and thermodynamic studies", Bioresour Technol, 261:329-341, 2018.
- [4] Zaini, H., dan Sami, M., "Kinetika adsorpsi Pb (II) dalam air limbah laboratorium kimia menggunakan sistem kolom dengan bioadsorben kulit kacang tanah", Jurnal Teknik Kimia, 1-9, 2016.
- [5] Arifuddin, W., "Pengaruh konsentrasi ion Cr (VI) terhadap daya adsorpsi karbon aktif tongkol jagung (*Zea mays*)", Jurnal Jurusan Kimia. FMIPA, 2017.