

Pemisahan Ion Besi dalam Larutan dengan Teknik Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif

Fajar Amelia Rachmawati Putri^{*)} dan Cheppy Asnadi

Program Studi Analisis Kimia, Politeknik AKA Bogor
Jl. Pangeran Sogiri No.283, Tanah Baru, Bogor Utara, Kota Bogor, Jawa Barat 16154

^{*)}Email: fajar-amelia-rp@kemenperin.go.id

(Received : 7 November 2021; Accepted: 21 Desember 2021; Published: 22 Desember 2021)

Abstrak

Besi (Fe) merupakan salah satu logam berat yang secara alamiah berada di lingkungan dan dapat menjadi pencemar khususnya dalam perairan. Dalam penelitian ini dilakukan adsorpsi ion Fe^{3+} menggunakan karbon aktif dengan mempelajari pengaruh pH, kecepatan pengadukan, dan waktu kontak. Metode adsorpsi dipilih karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya tidak memerlukan peralatan yang rumit, tidak membutuhkan biaya yang mahal, dan aman. Karbon aktif komersial digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang besar. Penentuan kapasitas adsorpsi ion Fe^{3+} menggunakan karbon aktif ditentukan secara kolorimetri. Metode ini dilakukan dengan menambahkan HNO_3 1:3 dan KCNS 20% yang selanjutnya diukur menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Hasil analisis menunjukkan bahwa karbon aktif komersial dapat menyerap ion Fe^{3+} secara optimum pada pH 6 dengan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm selama 90 menit. Kapasitas adsorpsi ion Fe^{3+} optimum yang diperoleh pada tiga kondisi tersebut sebesar 23,69 $mg\ g^{-1}$. Studi kinetika menunjukkan bahwa adsorpsi ion Fe^{3+} oleh karbon aktif mengikuti model orde kedua dengan nilai k_2 sebesar $2,6 \times 10^{-3}\ g\ mg^{-1}\ min^{-1}$.

Kata kunci: adsorpsi; karbon aktif; Fe^{3+} ; kolorimetri

Abstract

Iron (Fe) is one of the heavy metals that naturally exists in an environment and potentially be a pollutant, typically in the water. In this research, the adsorption of Fe^{3+} ions has been conducted using activated carbon by identifying the influence of pH, shaking speed, and contact time. The adsorption method was selected since it offers several advantages such as there is no need for complicated equipment, low-cost technique, and safe. A commercial activated carbon was chosen due to its high surface area. The determination of adsorption of Fe^{3+} ions by using activated carbon was done by the colorimetric method. This technique was carried out by the addition of HNO_3 1:3 and KCNS 20% followed by measurement employing a Uv-Vis spectrophotometer. The analysis result showed that commercial activated carbon could optimally adsorb Fe^{3+} ions at pH 6 with a shaking speed of 150 rpm for 90 min. The optimum adsorption capacity of Fe^{3+} ions achieved under those three conditions was 23.69 $mg\ g^{-1}$. Kinetic study exhibited that the adsorption of Fe^{3+} ions onto activated carbon followed second-order model with k_2 of $2,6 \times 10^{-3}\ g\ mg^{-1}\ min^{-1}$. Keywords: adsorption; activated carbon; Fe^{3+} ; colorimetry

PENDAHULUAN

Air memegang peranan penting dalam kehidupan manusia dan juga makhluk hidup lainnya. Secara langsung air digunakan dalam kegiatan manusia sehari-hari dan secara tidak langsung air juga dibutuhkan sebagai bagian dari ekosistem yang dengannya kehidupan di bumi dapat berlangsung. Sebagian aktivitas manusia terkadang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satunya adalah masuknya bahan pencemar ke badan air. Air yang telah tercemar dapat ditandai dengan adanya bahan organik, bahan anorganik,

bahan toksik, dan juga logam berat. Pencemaran lingkungan oleh logam berat merupakan masalah yang serius akhir-akhir ini karena dapat merusak ekosistem lingkungan. Berbagai kegiatan industri dapat menghasilkan logam berat seperti metalurgi, pupuk, pestisida, tekstil, kulit, baterai, fotografi, dan elektroplating (Mouni *et al.*, 2011). Kontaminasi air oleh ion logam berat merupakan masalah serius bagi lingkungan dan kesehatan yang disebabkan oleh efek toksik dari ion logam tersebut pada konsentrasi rendah sekalipun. Besi (Fe) merupakan salah satu

logam berat yang secara alamiah berada di lingkungan akibat adanya pelapukan dari batuan. Umumnya Fe yang terdapat dalam air berbentuk sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri) yang tersuspensi sebagai butir koloidal dengan diameter kurang dari 1 μm . Ion Fe di dalam air dapat menyebabkan air berwarna agak kuning dan menimbulkan karat pada sisi pipa (Ghosh *et al.*, 2008).

Berbagai penelitian dilakukan dalam upaya pengolahan limbah untuk penghilangan logam Fe seperti teknik pengendapan dengan koagulasi (Ghosh *et al.*, 2008) dan elektrokoagulasi (Das & Nandi, 2019). Metode lain yang dilakukan adalah ion exchange (Al-Anber *et al.*, 2008; Bezzina *et al.*, 2019). Upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi kadar Fe dalam air pada dapat dilakukan menggunakan metode adsorpsi. Metode ini memiliki keunggulan, di antaranya aman, tidak memerlukan peralatan yang rumit dan mahal, mudah pengerjaannya, dan dapat di daur ulang. Adsorpsi merupakan metode yang efektif untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan (Ucer *et al.*, 2006). Metode adsorpsi bergantung pada kemampuan permukaan adsorben untuk menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan. Berbagai jenis adsorben karbon aktif telah berhasil dikembangkan dan terbukti mampu mengadsorpsi ion logam berat, hanya saja tergolong mahal dan sulit untuk diproduksi (Al-Ghouti & Da'ana, 2020). Beberapa penelitian yang pernah dilakukan untuk penghilangan Fe dalam air dengan adsorpsi menggunakan kitosan (Ngah *et al.*, 2005) dan adsorpsi menggunakan kulit telur (Yeddou & Bensmaili, 2007).

Salah satu adsorben yang paling banyak digunakan untuk menyerap ion logam adalah karbon aktif. Karbon aktif adalah bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan-bahan yang mengandung 85-95% unsur karbon. Penyerapan Fe menggunakan karbon aktif dapat diimobilisasi menggunakan tanin (Ucer *et al.*, 2006). Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri sehingga mampu menyerap sejumlah pengotor dalam air (Boudrahem *et al.*, 2011). Penelitian ini akan difokuskan dalam menentukan kemampuan karbon aktif untuk menyerap dan memisahkan ion Fe dalam larutan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pH, kecepatan pengadukan, dan waktu kontak. Ion Fe yang dimaksud dalam penelitian ini adalah ion Fe^{3+} yang pada penelitian-penelitian sebelumnya hanya mempelajari penyerapan ion Fe tanpa melihat spesiasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu spektrofotometer Uv-Vis Shimadzu UV-1800 *double beam*, *shaker*, neraca, dan peralatan gelas. Bahan yang digunakan adalah karbon aktif komersial, larutan $Fe(NO_3)_3$ 20 ppm, KCNS 20%, HNO_3 1:3, HCl 0,1 N, larutan NaOH 0,1 N, kertas pH, kertas Whatman No. 42, dan akuabides.

Pengaruh pH pada Adsorpsi Fe oleh Karbon Aktif

Sebanyak 0,25 g karbon aktif ditambahkan ke dalam 250 mL larutan Fe 20 ppm. pH larutan selanjutnya diatur dari 1-14 dengan penambahan NaOH 0,1 N dan HCl 0,1 N. Larutan digojok dalam *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 30 menit. Larutan disaring dan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer Uv-Vis.

Pengaruh Kecepatan Pengadukan pada Adsorpsi Fe oleh Karbon Aktif

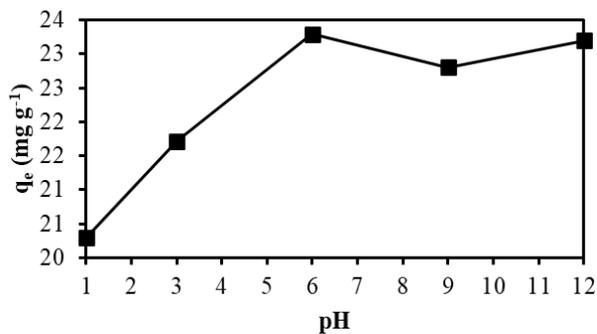
Karbon aktif dengan berat 0,25 g ditambahkan ke dalam 250 mL larutan Fe 20 ppm. Larutan diatur pada pH optimum yang diperoleh dari prosedur kerja sebelumnya. Larutan digojok dalam *shaker* dengan variasi kecepatan 50, 100, 150, 200, dan 250 rpm selama 30 menit. Larutan disaring dan dilanjutkan dengan pengukuran absorbansi larutan dengan spektrofotometer Uv-Vis.

Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Fe oleh Karbon Aktif

Sebanyak 0,25 g karbon aktif ditambahkan ke dalam 250 mL larutan Fe 20 ppm. Larutan kemudian diatur pada pH optimum dan digojok dengan kecepatan optimum sesuai dengan prosedur sebelumnya. Penggojokan larutan dilakukan dengan variasi waktu kontak dari 30, 60, 90, 120 hingga 150 menit dalam *shaker*. Selanjutnya, larutan disaring dan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer Uv-Vis.

Penentuan Kadar Fe

Deret standar Fe dengan dengan konsentrasi 1 sampai 5 $mg L^{-1}$ dibuat dengan pengenceran larutan induk Fe 100 ppm. Larutan Fe encer ditambahkan 1,5 mL HNO_3 1:3 dan 1,5 mL KCNS 20% yang kemudian ditera menggunakan akuabides dan dihomogenkan. Sampel hasil adsorpsi dipipet sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL. Tahap ini dilanjutkan dengan penambahan 1,5 mL HNO_3 1:3 dan 1,5 mL KCNS 20% yang selanjutnya ditera menggunakan akuabides dan dihomogenkan. Larutan standar dan sampel diukur serapannya dengan menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimum. Metode yang diterapkan pada penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Maimulyanti *et al.* (2020).



Gambar 1. Efek pH pada adsorpsi Fe³⁺ menggunakan karbon aktif

HASIL DAN PEMBAHASAN

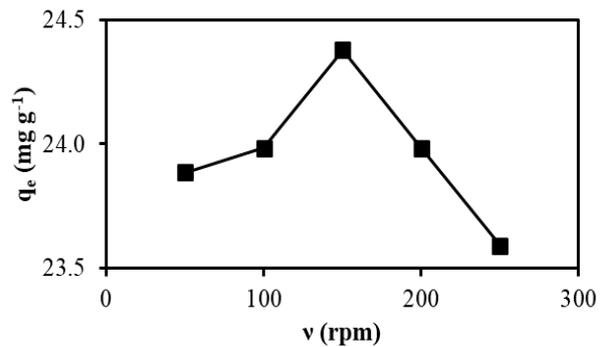
Pengaruh pH pada Adsorpsi Fe oleh Karbon Aktif

Pengaruh pH pada adsorpsi Fe³⁺ menggunakan karbon aktif dipelajari dari pH 1 hingga 12 untuk mewakili kondisi asam, netral, dan basa. Berdasar hasil adsorpsi pada Gambar 1, kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi Fe³⁺ mengalami kenaikan bertahap dari pH 1 ke pH 6 dan setelahnya terjadi fluktuasi landai yang teramati pada pH 9 dan 12.

Berdasar kecenderungan yang ditunjukkan dapat disimpulkan bahwa adsorpsi optimum terjadi pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 23,296 mg g⁻¹. Gambar 1 menunjukkan bahwa adsorpsi Fe³⁺ menggunakan karbon aktif dipengaruhi oleh pH larutan yang mempengaruhi muatan permukaan karbon aktif dan spesiasi Fe³⁺ (Alslaibi *et al.*, 2013).

Pada pH yang sangat asam yaitu pH 1 dan 3, kapasitas adsorpsi yang diperoleh lebih rendah yaitu sebesar 20,29 dan 21,72 mg g⁻¹ karena Fe³⁺ berkompetisi dengan ion H₃O⁺ untuk menempel pada situs aktif yang terdapat di permukaan karbon aktif. Pada kondisi ini, ion H₃O⁺ berada dalam konsentrasi tinggi dan memiliki mobilitas yang cepat sehingga ion H₃O⁺ lebih disukai untuk bereaksi dengan gugus fungsi anionik yang berada di permukaan karbon aktif (Božić *et al.*, 2009). Dengan demikian, menurunkan ketersediaan situs pengikatan untuk ion Fe³⁺. Pada pH netral dan basa, jumlah Fe³⁺ yang teradsorpsi lebih tinggi dapat disebabkan karena permukaan karbon aktif terdeprotonasi yang menghasilkan dominasi muatan negatif gugus fungsi. Fenomena ini berkontribusi terhadap peningkatan jumlah ion Fe³⁺ yang dapat diikat oleh permukaan karbon aktif.

Diketahui bahwa ion OH⁻ memiliki kestabilan yang lebih rendah dibandingkan ion H⁺ karena ukuran OH⁻ yang lebih besar sehingga lebih banyak molekul air yang mengelilingi ion OH⁻ untuk hidrasi. Dengan demikian, lebih banyak ion OH⁻ yang teradsorpsi oleh karbon aktif dibandingkan ion H⁺.



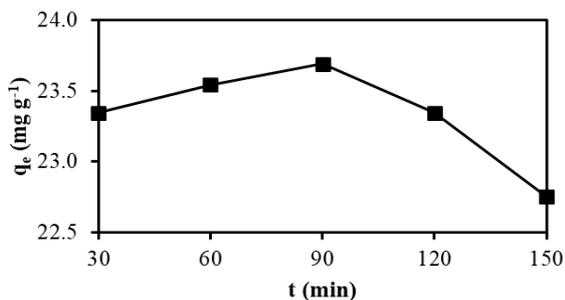
Gambar 2. Pengaruh kecepatan pengadukan pada adsorpsi Fe³⁺ menggunakan karbon aktif

Dengan kata lain, kation seperti Fe(OH)₂⁺ dan Fe(OH)₄²⁺ merupakan spesies dominan masing-masing pada rentang pH 6-8 dan 8-12 (Sanz *et al.*, 2003). Adsorpsi ion Fe³⁺ menggunakan karbon aktif dapat terjadi melalui kompleksasi antara gugus fungsi yang bermuatan negatif seperti gugus karboksilat (-COOH) dan Fe(OH)₂⁺ serta Fe(OH)₄²⁺. Pada pH yang lebih tinggi dari 4, gugus karboksilat terdeprotonasi dan memiliki muatan negatif (-COO⁻) yang mengakibatkan penarikan ion Fe³⁺ meningkat. Terdapat penurunan jumlah ion Fe³⁺ yang teradsorpsi pada pH 9 yang diakibatkan oleh dominasi Fe(OH)₃ yang bermuatan netral. Hal ini berimplikasi pada melemahnya tarikan gugus fungsi pada permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif.

Pengaruh pH pada Adsorpsi Fe oleh Karbon Aktif

Variasi kecepatan pengadukan diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap adsorpsi ion Fe³⁺ menggunakan karbon aktif. Pada Gambar 2 terlihat bahwa kecepatan pengadukan optimum adalah 150 rpm yang menghasilkan kapasitas adsorpsi tertinggi yaitu sebesar 24,38 mg g⁻¹. Pada kecepatan yang lebih rendah masih diperoleh kapasitas adsorpsi yang rendah karena terdapat hambatan yang diakibatkan oleh adanya *boundary layer* (lapisan batas) antara fasa cair larutan dan fasa padat karbon aktif. Pada saat terdapat peningkatan kecepatan pengadukan, hambatan tersebut menurun karena lapisan batas melemah sehingga meningkatkan mobilitas ion Fe³⁺ menuju permukaan karbon aktif (Inglezakis *et al.*, 2007). Namun pada kecepatan yang lebih tinggi daripada 150 rpm terjadi penurunan kapasitas adsorpsi yang dapat disebabkan karena peningkatan kinetika reaksi mempengaruhi *leaching* (pelepasan) ion Fe³⁺ dari permukaan karbon aktif.

Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Fe oleh Karbon Aktif



Gambar 3. Pengaruh waktu kontak pada adsorpsi Fe³⁺ menggunakan karbon aktif

Berdasar pada Gambar 3, diketahui bahwa waktu kontak berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi ion Fe³⁺ pada karbon aktif yaitu semakin lama waktu kontak maka semakin banyak ion Fe³⁺ yang teradsorpsi hingga mencapai waktu optimumnya. Kapasitas adsorpsi ion Fe³⁺ optimum dicapai pada waktu 90 menit yaitu sebesar 23,69 mg g⁻¹. Pada 60 menit pertama, terlihat bahwa terjadi adsorpsi ion Fe³⁺ dalam jumlah yang besar disebabkan oleh banyaknya situs aktif yang terdapat pada permukaan karbon aktif yang masih kosong untuk adsorpsi ion Fe³⁺. Waktu kontak optimum yang diperoleh pada penelitian ini adalah 90 menit yang ditunjukkan dengan penurunan konsentrasi ion Fe³⁺ yang teradsorpsi pada waktu sesudahnya. Pada saat proses adsorpsi berjalan lebih lama, situs aktif pada permukaan karbon aktif sudah terisi dengan ion Fe³⁺ sehingga berada pada titik jenuhnya. Di samping itu, situs aktif pada permukaan karbon aktif menjadi sulit untuk diisi oleh ion Fe³⁺ karena terdapat gaya tolak menolak antara ion Fe³⁺ pada larutan dengan ion Fe³⁺ yang sudah teradsorpsi pada permukaan karbon aktif. Pada titik waktu 120 dan 150 menit, terjadi penurunan kapasitas adsorpsi yang disebabkan oleh situs aktif pada permukaan karbon aktif telah jenuh oleh ion Fe³⁺ dan menyebabkan pelepasan ion Fe³⁺ dari situs aktif pada karbon aktif ke larutan. Desorpsi ion Fe³⁺ pada keadaan telah jenuh ini berarti pula sistem telah mencapai ekuilibrium. Pada keadaan jenuh, penambahan waktu kontak tidak akan meningkatkan adsorpsi namun cenderung menurunkannya karena ikatan yang terbentuk akan terlepas kembali.

Kinetika Adsorpsi

Penentuan laju adsorpsi ion Fe³⁺ oleh karbon aktif diperoleh dari hubungan penurunan konsentrasi ion Fe³⁺ dalam larutan terhadap waktu. Laju adsorpsi ini menunjukkan seberapa cepat adsorpsi mencapai kesetimbangan. Persamaan kinetika adsorpsi yang dibandingkan adalah orde pertama dan kedua (Tabel 1). Plot grafik dilakukan berdasarkan persamaan untuk setiap orde yang diturunkan sehingga menghasilkan persamaan garis yang linear. Grafik

kinetika orde pertama diperoleh dari ln konsentrasi ion Fe³⁺ pada saat kesetimbangan (ln C_e) vs t sedangkan orde kedua didapatkan dari plot $\frac{1}{C_e}$ vs t. Nilai koefisien determinasi (R²) yang semakin mendekati 1 menjadi acuan untuk memilih persamaan kinetika adsorpsi yang sesuai. Nilai konstanta laju reaksi (k) ditentukan dari slope.

Berdasar pada hasil linearitas, diperoleh bahwa adsorpsi ion Fe³⁺ menggunakan karbon aktif mengikuti kinetika orde kedua. Kinetika adsorpsi orde kedua dapat diasumsikan dengan terjadinya kemisorpsi yang melibatkan ikatan valensi (*valency forces*) melalui pembagian atau pertukaran elektron antara karbon aktif dan ion Fe³⁺. Laju adsorpsi orde kedua bergantung pada jumlah ion Fe³⁺ pada permukaan karbon aktif dan jumlah ion Fe³⁺ yang terserap pada kondisi kesetimbangan (Ho, 2005).

Tabel 1. Data kinetika adsorpsi ion Fe³⁺ oleh karbon aktif

Model Kinetika	Parameter	
	R ²	k
Orde pertama	0,9976	0,0039 min ⁻¹
Orde kedua	0,9998	0,0026g mg ⁻¹ min ⁻¹

KESIMPULAN

Karbon aktif komersial menunjukkan kemampuan untuk mengadsorpsi Fe³⁺ secara efektif dalam larutan pada kondisi pH 6 dengan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm selama 90 menit, Kapasitas adsorpsi ion Fe³⁺ optimum yang diperoleh dengan tiga kondisi tersebut sebesar 23,69 mg g⁻¹. Adsorpsi ion Fe³⁺ pada karbon aktif mengikuti kinetika model orde kedua dengan nilai k₂ sebesar 2,6 × 10⁻³ g mg⁻¹ min⁻¹.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Anber, M., & Al-anber, Z., (2008), Utilization of natural zeolite as ion exchange and sorbent material in the removal of ion, *Desalination*, 225, 70-81.
- Al-Ghouti, M.A., & Da'ana D.A., (2020), Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review, *Journal of Hazardous Material*, 393, 122838-122845.
- Alslaiibi, T. M., Abustan, I., Ahmad, M. A., & Foul, A. A., (2013), Kinetics and equilibrium adsorption of iron (II), lead (II), and copper (II) onto activated carbon prepared from olive stone waste, *Desalination and Water Treatment*, 1-11.
- Bezzina, J.P., Rader, L.R., Dawson, R., & Ogralen, M.D., (2019), Ion exchange removal of Cu(II), Fe(II), Pb(II) and Zn(II) from acid extracted sewage sludge-resin screening in weak acid media, *Water Research*, 158, 257-267.
- Boudrahem, F., Soualah, A., & Aissani-Benissad, F., (2011), Pb(II) and Cd(II) removal from

- aqueous solution using activated carbon developed from coffee residue activated with phosphoric acid and zinc chloride, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 56, 1946-1955.
- Božić, D., Stanković, V., Gorgievski, M., Bogdanović, G., & Kovačević, R., (2009), Adsorption of heavy metal ions by sawdust of deciduous trees, *Journal of Hazardous Materials*, 171, 684-692.
- Das, D., & Nandi, B.K., (2019), Removal of Fe(II) ions from drinking water using electrocoagulation (EC) process: Parametric optimization and kinetic study, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103116.
- Ghosh, P., Solanki, H., & Purkait, M.K., (2008), Removal of Fe(III) from tap water by electrocoagulation technique, *Journal of Hazardous Material*, 15, 135-143.
- Ho, Y., (2006), Review of second-order models for adsorption systems, *Journal of Hazardous Materials*, (136)3, 681-689.
- Inglezakis, V. J., Stylianou, M. A., Gkantzou, D., Loizidou, M. D., (2007), Removal of Pb (II) from aqueous solutions by using clinoptilolite and bentonite as adsorbents, *Desalination*, 210, 248–256.
- Maimulyanti, A., Prihadi, A.R., Nurhidayati, I., (2020), Adsorption of cobalt ion from aqueous solution using biomaterial of microalgae *Oscillatoria* sp isolated from Teluk Jakarta, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 17, 7-12.
- Mouni, L., Merabet, D., Bouzazu, A., & Bellchiri, L., (2011), Adsorption of Pb (II) from aqueous using activated carbon developed from apricot stone, *Desalination*, 276, 14-153.
- Ngah, W.S.W., Ghani, S.A., & Kamari, A., (2005), Adsorption behavior of Fe(II) and Fe(III) ions in aqueous solution on chitosan and cross-linked chitosan beads, *Bioresources Technology*, 96, 443-450.
- Ucer, A., Uyanik, A., Aygun, S.F., (2006), Adsorption of Cu(II), Cd(II), Mn(II), and Fe(III) ions by tannin acid immobilized activated carbon, *Separation Purification Technology*, 47, 113-118.
- Yeddou, N., & Bensmaili, A., (2007), Equilibrium and kinetic modelling of iron adsorption by eggshell in batch system: effect of temperature, *Desalination*, 206, 127-134.