



Uji Kemampuan Adsorpsi Komposit Keratin Bulu Itik-Polietilena Terhadap Ion Besi(III)

Oktavia Hesti Fauzy, Uripto Trisno Santoso, Umi Baroroh Lili Utami*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia

*e-mail korespondensi: umi.baroroh@ulm.ac.id

Submitted: 19 Oktober 2022; Accepted: 07 November 2020

ABSTRACT – Research on the adsorption of iron(III) ion using an adsorbent from duck feather-polyethylene composite has been studied. This study aimed to determine the optimum pH conditions and the optimum contact time required in the iron(III) ion adsorption process. Optimum pH and contact time are then measured using AAS to determine the amount of iron(III) ion adsorbed with the duck feather-polyethylene composite adsorbent. The determination of the optimum pH was carried out with pH variations which are 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8, while determination of the optimum contact time was carried out with contact time variations which are 40, 60, 80, 100, 120, 140, and 160 minutes. The result of this research showed that optimum conditions for iron(III) ion adsorption at pH 6 and contact time at 80 minutes, which each adsorption capacity are 68.33% and 79.78%.

Keywords: feather duck adsorbent, polyethylene, adsorption, composite, iron

PENDAHULUAN

Kalimantan Selatan yakni satu dari beberapa provinsi dengan jumlah produksi itik terbesar di Indonesia. Menurut data Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, jumlah produksi itik di Kalimantan Selatan pada tahun 2020 menduduki peringkat kelima tertinggi yaitu sebanyak 4.825.729 ekor itik. Namun, tingginya produk tersebut juga memberikan dampak negatif berupa tingginya hasil samping yang dihasilkan yang salah satunya merupakan bulu itik. Adapun jumlah bulu itik yang dihasilkan pada tahun 2020 tersebut, mengacu pada Packham (1982), diperkirakan dapat mencapai sekitar 434.00 ton. Bulu itik yang dihasilkan tersebut, sejauh ini masih belum sepenuhnya dikelola secara efektif, sehingga sebagian besar masih berakhir menjadi limbah yang tidak dimanfaatkan. Padahal, limbah bulu itik yang tidak mengalami pengolahan lebih lanjut dapat menjadi bahan pencemar yang berpotensi merusak lingkungan. Bulu itik memiliki kandungan protein kasar, seperti keratin dan serat yang sulit terdegradasi oleh lingkungan. Kandungan protein kasar tersebut pada bulu itik menyebabkan bulu itik memiliki resistensi terhadap degradasi lingkungan dan memberikan pengaruh pada penurunan kualitas lingkungan seperti tanah dan air (Mirdayanti, 2013). Oleh karenanya diperlukan upaya untuk menangani permasalahan tersebut salah satunya dengan memanfaatkan bulu itik menjadi produk yang bermanfaat.

Salah satu solusi yang sedang dikembangkan adalah pemanfaatan keratin yang terkandung pada bulu itik sebagai adsorben yang mana bisa dipakai dalam hal menurunkan kadar logam (Banat & Al-Asheh, 2000). Keratin adalah suatu kelompok protein yang memiliki sel epitel tertentu pada hewan bertulang belakang dan lapisan tanduk kulit luar serta epidermal tambahan seperti rambut, kuku, dan bulu ayam (Lin *et al.*, 1992). Keratin mengandung gugus fungsional seperti gugus sulfhidral (S-H), gugus karboksil (–COOH) dan gugus amina (–NH₂) yang dapat bertindak sebagai sisi aktif pada proses adsorpsi logam berat (Khumairoh, 2013). Sa'adah *et al.*, (2013) menyatakan bahwa adsorpsi larutan zat warna dengan keratin bulu ayam sebelum dan sesudah termodifikasi asam formiat mencapai kondisi terbaik pada pH 3 dengan waktu kontak berturut-turut 100 dan 60 menit. Hasil penelitian Nurwijayanti (2017) menunjukkan bahwa adsorpsi larutan Cr dengan keratin bulu itik

sebelum dan sesudah termodifikasi HCl dan CH₃OH mencapai kondisi terbaik pada pH 5 dan pH 6 dengan waktu kontak 80 dan 120 menit. Hasil penelitian Hidayat (2018) menyatakan bahwa adsorpsi larutan Zn²⁺ dengan keratin bulu ayam termodifikasi NaOH dan Na₂SO₃ mencapai kondisi terbaik pada pH 6 dan waktu kontak 80 menit. Sedangkan hasil penelitian Bagaskoro *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa adsorpsi larutan Fe dengan keratin bulu ayam termodifikasi HCl, asam askorbat dan NaOH mencapai hasil terbaik pada waktu kontak 40 menit. Namun penggunaan keratin sebagai adsorben ion logam masih belum efektif dikarenakan perbedaan muatan antara ion logam dengan keratin (Khumairoh, 2013). Sebagai upaya untuk meningkatkan kemampuan keratin dalam proses adsorpsi maka keratin dapat disintesis menjadi komposit dengan bahan-bahan lainnya berupa polimer seperti polipropilena (Jin *et al.*, 2013), polietilena (Barone, 2005), dan resin polyester (Uzun *et al.*, 2011).

Aluigi *et al.*, (2012) menyatakan bahwa adsorpsi larutan Cr (VI) menggunakan keratin terhidrolisis poliamida 6 mencapai kondisi terbaik pada pH 3 dan waktu kontak 48 jam. Hasil penelitian Juarez *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa adsorpsi larutan Cr (VI) mencapai kondisi terbaik pada pH 1,5. Hasil penelitian Kumari dan Sobha (2015) menyatakan bahwa adsorpsi larutan Cu menggunakan keratin bulu emu dengan komposit kitosan mencapai kondisi terbaik pada pH 6 dan waktu kontak 70 menit. Menurut Jin *et al.*, (2013), penggunaan biokomposit polietilena dan keratin mampu meningkatkan kemampuan penyerapan logam berat oleh adsorben. Polietilena merupakan salah satu polimer buatan yang terbentuk dari untaian rantai monomer etilena. Polietilena memiliki sifat-sifat yang sesuai untuk dikembangkan sebagai matriks pada komposit biopolimer seperti tingkat kekerasan yang baik, resistensinya terhadap bahan kimia yang tinggi, serta kelarutannya yang sangat rendah di suhu ruang (Billmeyer, 1984). Penggunaan polietilena juga dapat memberikan keuntungan baik dari segi biaya ataupun lingkungan, karena ketersediaannya yang melimpah di masyarakat sebagai limbah plastik. Limbah plastik merupakan salah satu masalah yang serius yang sulit terbiodegradasi secara alami sehingga keberadaannya dapat memperlambat kinerja mikroorganisme untuk pembusukan didalam tanah. Maka dari itu, pemanfaatan polietilena sebagai bahan baku adsorben komposit diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya pengurangan limbah plastik.

Berdasarkan latar belakang diatas maka pada penelitian kali ini dilakukan analisis kemampuan adsorpsi dari biokomposit keratin bulu itik-polietilena terhadap ion besi(III). Keratin dari bulu itik yang digunakan pada penelitian ini dimodifikasi menggunakan polietilena dan dilakukan optimasi untuk mengetahui berapa pH dan waktu kontak optimum dengan tujuan untuk meningkatkan daya serap adsorpsi pada keratin bulu itik. Diharapkan hasil adsorben yang terbentuk akan memiliki daya serap adsorpsi yang kuat dan dapat mengikat ion logam.

METODE PENELITIAN

Bulu itik sebanyak 1 kg dicuci menggunakan detergen dan air, kemudian dijemur hingga kering sampai baunya menghilang. Selanjutnya bulu itik digiling sampai halus menggunakan mesin penggilingan agar lebih mudah saat diayak. Bulu itik diayak menggunakan ayakan berukuran 40 mesh agar menghasilkan serbuk bulu itik. Serbuk bulu itik yang didapat diambil sebanyak 100 gram, setelah itu direndam menggunakan 500 mL petroleum eter dan 300 mL HCl 0,1 M selama 24 jam. Serbuk bulu itik yang sudah direndam kemudian disaring menggunakan kertas saring sehingga residu dan filtratnya terpisah. Residu yang didapat dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C.

Serbuk bulu itik dimodifikasi menggunakan pelarut Na₂S₂O₅ dan urea. Sebanyak 50 gram serbuk bulu itik dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan 100 gram urea dan 1000 mL Na₂S₂O₅ dengan konsentrasi 0,35 M, larutan dipanaskan pada suhu 65°C menggunakan *hot plate* selama 5 menit dan dilakukan proses pengadukan. Kemudian sampel didiamkan selama 2 jam. Selanjutnya larutan disaring dan dibilas dengan akuades lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C.

Pembuatan komposit keratin bulu itik-polietilena termodifikasi Na₂S₂O₅ dengan polietilena dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: sebanyak 16 gram plastik polietilena dimasukkan dalam gelas piala, kemudian ditambahkan 150 mL xilena dan dipanaskan menggunakan *hot plate* sambil diaduk hingga mencair. Adsorben bulu itik ditambahkan sebanyak 24 gram dan sambil terus diaduk hingga tercampur. Setelah tercampur ditambahkan asam maleat sebanyak 20 gram dan diaduk hingga tercampur. Setelah itu hasil yang didapat langsung dicetak menggunakan alat cetak dalam keadaan panas. Hasil yang didapat kemudian dikeringkan dalam suhu ruang agar xilena menguap dan mendapat komposit padat berbentuk pelet. Perbandingan massa sampel bulu itik dan plastik polietilena yang digunakan adalah 70:30.

Larutan besi 100 ppm dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 disiapkan. Variasi pH dilakukan dengan menambahkan HCl 0,1 M untuk menurunkan pH dan NaOH 0,1 M untuk menaikkan pH, kemudian sebanyak 50 mL larutan besi 100 ppm variasi pH dipipet ke dalam 7 buah erlenmeyer yang telah disediakan. Komposit bulu

itik-polietilena ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 0,25 gram dan dimasukkan kedalam masing-masing erlenmeyer. Komposit bulu itik-polietilena dikontakkan dengan larutan besi 100 ppm dengan cara diaduk menggunakan *stirrer* selama 100 menit. Filtrat dan endapan dipisahkan dengan cara disaring menggunakan kertas saring. Masing-masing filtrat yang dihasilkan akan dianalisis dengan menggunakan SSA, analisis dilakukan secara duplo.

Larutan besi 100 ppm dipipet sebanyak 50 mL dan dimasukkan kedalam 7 buah erlenmeyer yang telah disediakan. Komposit bulu itik-polietilena ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 0,25 gram dan dimasukkan kedalam masing-masing erlenmeyer. Komposit bulu itik-polietilena dikontakkan dengan larutan besi 100 ppm dengan cara diaduk menggunakan *stirrer* selama 40, 60, 80, 100, 120, 140 dan 160 menit. Filtrat dan endapan dipisahkan dengan cara disaring menggunakan kertas saring. Masing-masing filtrat yang dihasilkan akan dianalisis dengan menggunakan SSA, analisis dilakukan secara duplo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi bulu itik dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ bertujuan untuk mengubah struktur keratin menjadi lebih mudah terdegradasi sehingga dapat meningkatkan daya serap adsorpsi pada keratin bulu itik. Proses modifikasi bulu itik dimulai dengan tahap awal yaitu preparasi yang berupa pencucian, pengeringan, dan pemerataan ukuran sampel. Bulu itik yang sudah menjadi serbuk direndam menggunakan petroleum eter dan HCl 0,1 M. Penggunaan petroleum eter dan HCl 0,1 M adalah untuk menghilangkan pengotor pada bulu itik yang bersifat lemak, pengotor yang terdapat pada bulu itik ini dapat menghalangi penyerapan ion logam (Martelli *et al.*, 2006). Setelah proses perendaman selesai, petroleum eter dan HCl dihilangkan dengan cara dicuci dengan akuades dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C sehingga didapatkan serbuk bulu itik yang siap pakai.

Tahap berikutnya, proses aktivasi dilakukan dengan mereaksikan serbuk bulu itik dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 0,35 M dan urea. Urea adalah sejenis protein denaturant yang sering digunakan bersama dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ untuk memodifikasi protein. Adapun fungsi $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ dalam proses ini adalah sebagai reagen reduksi yang memutuskan ikatan-ikatan disulfida pada keratin, sehingga struktur ikatan bisa menjadi lebih longgar atau ikatan silang pada keratin bisa berkurang. Proses pemutusan didalam ikatan-ikatan tersebut akan lebih banyak memiliki situs-situs adsorpsi (Wang *et al.*, 2015; Moore *et al.*, 2006). Reaksi dilakukan melalui proses pengadukan selama 5 menit pada suhu 65°C . Fungsi pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* adalah untuk mempercepat proses aktivasi. Setelah itu bulu itik didinginkan dengan cara didiamkan selama 2 jam dan disaring menggunakan kertas saring dan dibilas dengan akuades hingga pH netral. Sampel bulu itik yang didapat kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C .

Hasil serbuk bulu itik yang sudah termodifikasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ dicampurkan dengan polietilena untuk membuat suatu komposit. Reaksi ini dilakukan dengan menambahkan pelarut xilena untuk melarutkan polietilena (Fathanah, 2011). Proses reaksi ini dilakukan dengan pemanasan dan pengadukan agar sampel dapat tercampur dengan sempurna. Sampel yang sudah tercampur ditambahkan asam maleat sebagai *coupling agent* (Abubakar, 2013), kemudian sampel dicetak dalam keadaan panas agar dapat menghasilkan sampel komposit dalam bentuk pelet. Sampel komposit yang sudah dalam bentuk pelet harus dikeringkan agar pelarut xilena yang terkandung didalam sampel dapat menguap. Hasil yang diperoleh berupa adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena dalam bentuk pelet yang ditunjukkan pada Gambar 1.



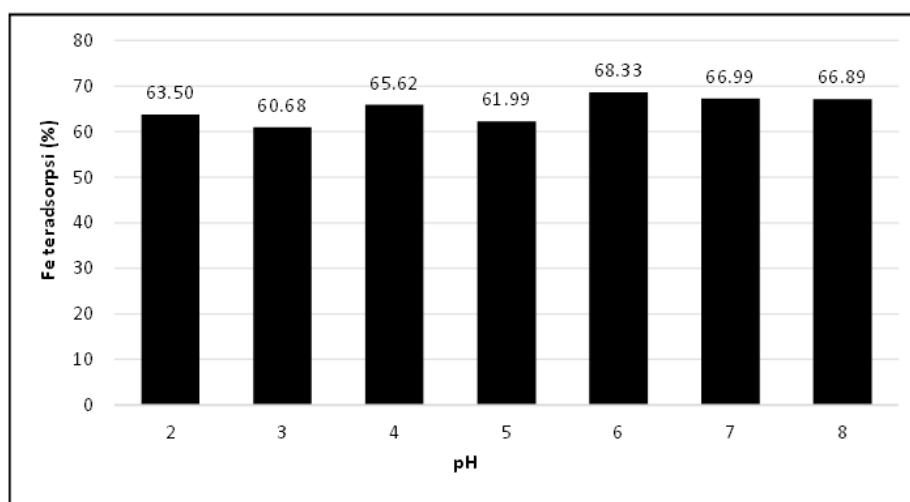
Gambar 1 Adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena

Menurut Utami (2021), perbandingan serbuk bulu itik termodifikasi $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ dan polietilena dengan variasi 70:30 adalah perbandingan paling sempurna untuk melakukan adsorpsi, dimana pelet yang didapat

terbentuk dengan sempurna tetapi permukaan bulu itik masih terlihat sehingga masih dapat berfungsi sebagai adsorben. Pengaplikasian komposit dalam bentuk pelet ini memiliki keuntungan yaitu bisa dipakai berulang, sehingga dapat mengurangi biaya jika adsorben ini diaplikasikan sebagai filter.

Kelarutan ion logam dalam larutan dipengaruhi oleh pH larutan. Dinding adsorpsi bulu bebek mengandung gugus fungsi yang berperan penting dalam menghilangkan logam berat dari lingkungan. Akibatnya, pH larutan merupakan faktor penting dalam adsorpsi ion logam (Volesky, 1990). Penentuan pH optimum dilakukan agar dapat mengetahui pH interaksi dimana adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena menyerap ion logam secara optimum.

Variasi pH yang mana dipakai pada penelitian ini yakni 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 dengan waktu kontak 100 menit. Larutan ion logam besi 103,70 ppm dikontakkan dengan adsorben sebanyak 0,25 gram. Kemudian adsorben dipisahkan dengan cara filtrasi, konsentrasi ion logam besi yang tersisa akan dianalisis. Hasil penelitian adsorpsi ion logam besi setelah adsorpsi akan dibandingkan dengan konsentrasi awal untuk menentukan berapa banyak ion logam yang teradsorpsi. Persentase ion logam besi yang teradsorpsi untuk semua variasi bisa diperlihatkan di dalam Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan antara pH dengan Fe teradsorpsi

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 di atas, hubungan antara pH dengan Fe teradsorpsi didapatkan hasil berturut-turut dari pH 2 sampai dengan 8 adalah 63,50 %, 60,68 %, 65,62 %, 61,99 %, 68,33 %, 66,99 %, dan 66,89 %. Hasil ini menunjukkan bahwa pH 6 merupakan pH optimum untuk penyerapan ion logam dengan adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena. Adsorpsi ion logam pada pH 3 memiliki nilai kapasitas adsorpsi yang sangat rendah yaitu 63,50%, hal ini dapat terjadi karena pada keadaan pH yang rendah permukaan adsorben akan dikelilingi oleh ion hidrogen (H^+) sehingga gugus amina ($-NH_2$) yang terdapat pada adsorben mengalami protonasi (Sakkayawong *et al.*, 2005).

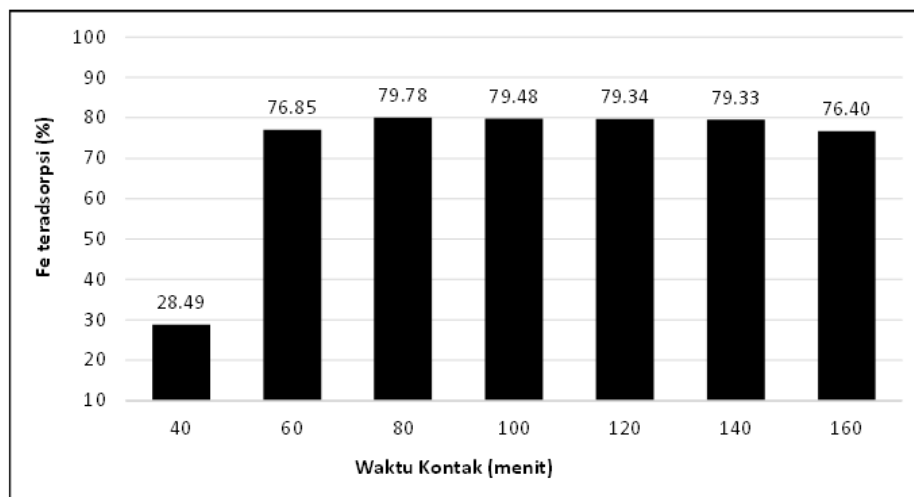
Setelah pH 6, adsorpsi menurun dari pH 3 ke pH 6. Adsorpsi pH 3 menghasilkan kapasitas adsorpsi hanya 63,50%, yang dianggap sangat rendah. Saat pH turun, ion hidrogen (H^+) terakumulasi pada permukaan sorben, memprotonasi gugus amina ($-NH_2$) dalam bahan (Sakkayawong *et al.*, 2005). Hal ini dapat menyebabkan tolakan antara ion logam dan permukaan adsorben, yang dapat mengakibatkan penurunan kapasitas adsorpsi ketika keadaan asam (Jatmiko, 2005).

Peningkatan pH adsorpsi ion logam Fe diamati hingga tercapai pH 6, di mana adsorpsi ion logam terbesar diamati sebesar 68,33 persen. Persentase ini berkurang menjadi 66% pada pH 7, meskipun. Struktur keratin berubah pada pH basa, sehingga kurang efektif dalam mengikat ion logam. Konsentrasi ion hidroksida yang lebih besar mungkin dihasilkan dari penambahan NaOH untuk mengubah pH Fe, memungkinkan ion logam dan ion hidroksida untuk mengikat. Meski demikian adsorpsi pada kondisi basa masih dapat terjadi, karena pada pH basa gugus hidroksil dari keratin akan mengalami deprotonasi (Sakkayawong, *et al.*, 2005).

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan agar dapat mengetahui dalam waktu kontak berapa interaksi adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena dapat menyerap ion logam secara optimum. Waktu kontak adalah salah satu hal yang dapat menentukan kapasitas adsorpsi. Dimana dalam waktu yang lebih lama memungkinkan

proses difusi dan penempelan dari molekul adsorbat dapat berlangsung lebih baik. Waktu kontak bisa terjadi dalam beberapa menit atau beberapa jam untuk mencapai keadaan setimbang (Bernasconi, *et al.*, 1995).

Variasi waktu kontak yang digunakan dalam penelitian ini adalah 40, 60, 80, 100, 120, 140 dan 160 menit dengan menggunakan pH 6. Adsorben yang digunakan sebanyak 0,25 gram dan konsentrasi larutan besi yaitu 103,70 ppm sebanyak 50 mL. Adsorben dipisahkan dengan cara filtrasi, sehingga filtrat yang didapat dapat dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom. Hasil penelitian adsorpsi ion logam besi setelah adsorpsi akan dibandingkan dengan konsentrasi awal untuk menentukan berapa banyak ion logam besi yang teradsorpsi. Persentase ion logam besi yang teradsorpsi untuk semua variasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik hubungan antara waktu kontak dengan Fe teradsorpsi

Karena pada saat ini tidak ada gugus aktif yang tertinggal pada adsorben tetapi adsorben dalam keadaan jenuh, hubungan antara waktu kontak dan adsorpsi Fe menunjukkan bahwa pada waktu kontak 40 menit, kuantitas adsorpsi hanya 28,49 persen. Besi merupakan salah satu jenis logam (Khumiroh, 2013). 76,85 persen proses adsorpsi meningkat setelah 60 menit kontak, dan 79,78 persen proses adsorpsi memuncak setelah 80 menit kontak. Adsorbat sisa larutan (Arivoli *et al.*, 2013). Kapasitas adsorpsi berkurang setelah adsorben tetap kontak dengan larutan selama 160 menit. Akibat gugus aktif pada adsorben menjadi jenuh karena waktu kontak yang lama, terjadi proses desorpsi, yang menghilangkan adsorbat dari adsorben seluruhnya. Adsorbat dilepaskan dari permukaan adsorben selama desorpsi. Karena permukaan adsorben jenuh, molekul-molekul yang telah diadsorpsi kembali teradsorpsi ke dalam larutan sebagai hasilnya (Atkins, 1999). Dalam waktu kontak ini, efisiensi eliminasi akan meningkat dengan cepat karena luas dari permukaan adsorben yang besar. Proses adsorpsi konstan setelah kesetimbangan karena permukaan adsorben hampir sepenuhnya digunakan oleh ion logam, dan peningkatan tolakan elektrostatis antara ion logam yang masuk dan ion logam yang teradsorpsi. Selama agitasi berkontribusi pada periode kontak yang lebih lama, ini memberikan beberapa perubahan tekanan untuk membantu proses adsorpsi (Khumairoh, *et al.*, 2013).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi pH optimum adsorpsi Fe^{3+} dengan adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena terjadi pada pH 6 dengan Fe^{3+} teradsorpsi sebesar 68,33 %.
2. Kondisi waktu kontak optimum adsorpsi Fe^{3+} dengan adsorben komposit keratin bulu itik-polietilena terjadi pada waktu kontak 80 menit dengan Fe^{3+} teradsorpsi sebesar 79,78 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Bapak Sunardi, selaku ketua Program Studi Kimia FMIPA ULM yang telah memfasilitasi penggunaan laboratorium kimia analitik dan lingkungan serta sponsor yang telah mendanai penelitian yaitu Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan

Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi melalui hibah Penelitian Disertasi Doktor (PDD) tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar. 2013. Preparasi Dan Karakterisasi Bahan Komposit Polipropilena Dengan Pengisi Serat Limbah Padat (*Fibre Recovery*) Dari Pabrik Pulp Dan Kertas. *Logaritma*. **1**: 98–108.
- Aluigi, A., C. Tonetti, C. Vineis, A. Varesano, C. Tonin, & R. Casasola. 2012. Study on the Adsorption of Chromium (VI) by Hydrolyzed Keratin/Poliaramida 6 Blend Nanofibres. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. **12**: 7250–7259. <https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6491>.
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika Jilid 2*. Edisi ke-4, diterjemahkan oleh Irma I. Kartohadiprodjo. Erlangga, Jakarta.
- Arivoli, S., V. Marimuthu, & A. R. M. Jahangir. 2013. Kinetics of Batch Adsorption of Iron (II) Ions from Aqueous Solution using Activated Carbon from *Strychnos Nux-Vomica L.* *International Journal of Scientific & Engineering Research*. **4**: 407–417.
- Bagaskoro, A. P., L. F. Ayunda, & N. D. Siswati. 2020. Pemanfaatan Bulu Ayam Sebagai Adsorben Logam Fe Dalam Air Tanah. *Journal of Chemical and Process Engineering*. **01**: 1–8.
- Banat, F., & S. Al-Asheh. 2000. Biosorption of phenol by chicken feathers. *Journal of Environmental Engineering and Policy*. **2**: 85–90.
- Barone, J. R. 2005. Polyethylene/Keratin Fiber Composites with Varying Polyethylene Crystallinity. *Part A: Applied Science and Manufacturing*. **36**: 1518–1524. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.03.006>.
- Benasconi, G., H. Gerster, H. Hawster, H. Stauble, & E. Schneiter. 1995. *Teknologi Kimia Bagian 2*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Billmeyer, F. W. 1984. *Textbook of Polymer Science*. 3rd Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Direktoret Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, Kementan. 2020. *Populasi Itik/Itik Manila Menurut Provinsi (Ekor), 2018-2020*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/indicator/24/479/1/populasi-itik-itik-manila-menurut-provinsi.html>. (diakses tanggal 14 Juni 2021).
- Fathanah, U. 2011. Kualitas Papan Komposit Dari Sekam Padi Dan Plastik HDPE Daur Ulang Menggunakan Maleic Anhydride (MAH) Sebagai Compatibilizer. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*. **2**: 53 – 59.
- Hidayat, D. N. 2018. *Pemanfaatan Biomassa Bulu Ayam Sebagai Adsorben Logam Ion Seng (Zn²⁺)*. Skripsi Program Sarjana. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Jatmiko, A. 2005. Studi Awal Pemanfaatan Kitosan Untuk Penurunan Kandungan Logam Berat Chrom (VI) pada Limbah. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Juarez, M. D. M., A. L. M. Hernandez, O. F. O. Mejia, J. F. Estrada, J. L. R. Armenta, & C. V. Santos, 2013. Polyurethane-Keratin Membranes: Structural Changes by Isocyanate and pH, and the Repercussion on Cr(VI) Removal. *International Journal of Polymer Science*. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2013/892547>.
- Jin, X., L. Lu, H. Wu, Q. Ke, & H. Wang. 2013. Duck Feather/Nonwoven Composite Fabrics for Removing Metals Present In Textile Dyeing Effluents. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. **8**: 89 –96.
- Khumairoh, W., R. Hastuti, & A. Haris. 2013. Pengaruh Penambahan Asam Askorbat Pada Bulu Ayam Sebagai Adsorben Terhadap Kemampuan Adsorpsi Ion Logam Kadmium (Cd²⁺) Dalam Larutan. *Cheminfo Journal*. **1**: 369–377.
- Kumari, A. R., & K. Sobha. 2015. Cost effective and eco-friendly method for copper removal by adsorption with Emu feather (*Dromaius novaehollandiae*) and Kitosan (*Agaricus bisporus*) Composite. *International Journal of ChemTech Research*. **8**: 1769–1782.
- Lin, X., C. G. Lee, E. S. Casale, & J. C. H. Shih. 1992. Purification and Characterization of a Keratinase from a Feather-Degrading *Bacillus licheniformis* Strain. *Applied and Environmental Microbiology*. **58**: 3271–3275.
- Martelli, S. M., G. Moore, S. S. Paes, C. Gandolfo, & J. B. Laurindo. 2006. Influence of Plasticizers on the Water Sorption Isotherms and Water Vapor Permeability of Chicken Feather Keratin Films. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology*. **39**: 292–301. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.12.014>.
- Mirdayanti, R. 2013. *Karakterisasi Edible Film dari Campuran Ekstraksi Keratin Limbah Bulu Ayam dan Pati Jagung Sebagai Kemasan Layak Makan*. Tesis Program Pasca Sarjana. Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Moore, G. R. P., S. M. Martelli, C. Gandolfo, P. J. A. Sobral, & J. B. Laurindo. 2006. Influence of the Glycerol Concentration on Some Physical Properties of Feather Keratin Films. *Food Hydrocolloids*. **20**: 975–982. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.11.001>.
- Nurwijayanti, D. 2017. *Adsorpsi Kromium Menggunakan Adsorben Bulu Itik*. Skripsi Program Sarjana. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Packham, J. R. 1982. *Ecology of Woodland Processes*. Edward Arnold, Inggris.
- Sa'adah, N., R. Hastuti, & N. B. A. Prasetya. 2013. Pengaruh Asam Formiat Pada Bulu Ayam Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Kadar Larutan Zat Warna Tekstil Remazol Golden Yellow Rnl. *Chem Info Journal*. **1**: 202–209
- Sakkayawong, N., P. Thiravetyan, & W. Nakbanpote. 2005. Adsorption Mechanism of Synthetic Reactive Dye Wastewater by Kitosan. *Journal of Colloid and Interface Science*. **286**: 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.01.020>.
- Utami, U. B. L. 2021. *Modifikasi Keratin Dari Bulu Itik Sebagai Filter Logam Berat Pada Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Batubara Dalam Skala Laboratorium*. Program Pasca Sarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Uzun, M., E. Sancak, I. Patel, I. Usta, M. Akalin, & M. Yuksek. 2011. Mechanical behaviour of chicken quills and chicken feather fibres reinforced polymeric composites. *Archives of Materials Science and Engineering*. **52**: 82–86.
- Volesky B. 1990. *Biosorption of Heavy Metals*. CRC Press, Boston.
- Wang, H., XY. Jin, & HB. Wu. 2015. Adsorption and Desorption Properties of Modified Feather and Feather/Polypropylene Melt-Blown Filter Cartridge of Lead Ion (Pb²⁺). *Journal of Industrial Textiles*. **0**: 1–16. <https://doi.org/10.1177/1528083715598896>.