

**PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR
AYAM SEBAGAI ADSORBEN UNTUK
MENURUNKAN KADAR BESI (FE)
DENGAN SISTEM BATCH**

TUGAS AKHIR



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh:

VIVIAN NOVIA AMALIA

NIM: H75216072

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Vivian Novia Amalia

NIM : H75216072

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul “PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR BESI (FE) DENGAN SISTEM BATCH”. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 5 Januari 2021

Yang menyatakan



(Vivian Novia Amalia)

NIM. H75216072

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh:

NAMA : VIVIAN NOVIA AMALIA

NIM : H75216072

JUDUL : PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR AYAM
SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR BESI
(FE) DENGAN SISTEM BATCH

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 5 Januari 2021

Dosen Pembimbing I



Sarita Oktorina, M.Kes.
NIP. 198710052014032003

Dosen Pembimbing II



Rr Diah Nugraheni Setyowati M.T.
NIP. 198205012014032001

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Vivian Novia Amalia ini telah dipertahankan

Didepan tim penguji tugas akhir

Di Surabaya, 5 Januari 2021

Mengesahkan,

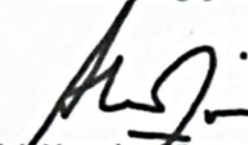
Tim Penguji

Dosen Penguji I



Sarita Oktorina, M.Kes.
NIP. 198710052014032003

Dosen Penguji II



Rr Dian Nugraheni Setyowati M.T.
NIP. 198205012014032001

Dosen Penguji III



Arqowi Pribadi, M. Eng.
NIP. 198701032014031001

Dosen Penguji IV



Ida Munfarida M.T.
NIP. 198411302015032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UN Surab Ampel Surabaya



Dr. Evi Fatimah Rusydiyah, M.Ag.
NIP. 197312272005012003



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Vivian Novia Amalia
NIM : H75216072
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : viviannovia@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI ADSORBEN

UNTUK MENURUNKAN KADAR BESI (FE) DENGAN SISTEM BATCH

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 5 Januari 2021

Penulis

(Vivian Novia Amalia)

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR BESI (FE) DENGAN SISTEM BATCH

Cangkang telur ayam merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga dan industri makanan. Cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) dan protein asam mukopolisakarida yang dapat dijadikan sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi adsorben dari limbah cangkang telur ayam terhadap logam besi (Fe) dengan sistem batch serta variasi dosis adsorben dan waktu pengadukan yang paling efektif. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan variasi waktu pengadukan yang digunakan yaitu 30 menit dan 60 menit, sedangkan massa adsorben yang digunakan sebesar 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata penyerapan pada variasi waktu kontak 30 menit dan 60 menit berturut-turut sebesar 74,87% dan 91,94%. Sedangkan rata-rata penyerapan pada variasi massa adsorben 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr berturut-turut sebesar 32,09%, 89,55%, 97,55%, 98,65% dan 99,21%. Massa adsorben 1,5 gr dengan waktu kontak 60 menit mempunyai efisiensi penyerapan yang paling tinggi, yaitu 99,65%. Berdasarkan hasil di atas, diketahui bahwa adsorben cangkang ayam dapat menurunkan kadar besi (Fe) dengan variasi waktu pengadukan dan massa adsorben.

Kata Kunci: Adsorpsi, Cangkang Telur Ayam, besi (Fe)

UTILIZATION OF CHICKEN EGGSHELL WASTE AS ADSORBENT TO REDUCE IRON (FE) LEVEL USING BATCH SYSTEM

Keywords: Adsorption, chicken eggshell, iron (Fe)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	14
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan	21
Tabel 3.2 Peralatan dan Bahan yang Dibutuhkan	22
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kadar Air Adsorben	37
Tabel 4.2 Data Rata-Rata Hasil Pengukuran Konsentrasi Besi (Fe).....	41
Tabel 4.3 Rata-Rata Efisiensi Penyerapan Kadar Besi (Fe)	41
Tabel 4.4 Uji Normalitas Berdasarkan Waktu Kontak	48
Tabel 4.5 Uji Kruskal Wallis Berdasarkan Waktu Kontak	48
Tabel 4.6 Uji Normalitas Berdasarkan Massa Adsorben	49
Tabel 4.7 Uji Homogenitas Berdasarkan Massa Adsorben	49
Tabel 4.8 Uji Kruskal Wallis Berdasarkan Massa Adsorben.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerangka Pikir Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan.....	20
Gambar 3.3 Desain Reaktor Sistem Batch.....	25
Gambar 4.1 Proses Pembersihan Cangkang Telur Ayam.....	34
Gambar 4.2 Proses Perendaman Cangkang Telur Ayam.....	35
Gambar 4.3 Proses Penjemuran Cangkang Telur Ayam.....	35
Gambar 4.4 Proses Pengayakan Serbuk Cangkang Telur Ayam.....	36
Gambar 4.5 Serbuk Cangkang Telur Ayam Hasil Pengayakan.....	36
Gambar 4.6 Proses Pengadukan Limbah Mengandung Besi (Fe) dengan Adsorben Cangkang Telur Ayam.....	40
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Massa Adsorben.....	43
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak.....	45
Gambar 4.9 Struktur Asam Amino.....	47
Gambar 4.10 Mekanisme Dugaan Pertukaran Ion Pada Adsorben Dengan Ion Logam Fe(II).....	47

Kadar besi (Fe) tersebut dapat diturunkan dengan beberapa cara, antara lain oksidasi, pertukaran ion, filtrasi maupun adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi pencemaran oleh logam berat. Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik permukaan. Adsorpsi dipilih karena lebih ekonomis, tidak menimbulkan efek toksik dan mampu menghilangkan bahan organik. Metode adsorpsi terdapat dua sistem (Ibrahim, 2016), yaitu sistem *batch* dan kontinyu. Metode adsorpsi yang dipilih yaitu sistem *batch* karena memiliki keuntungan diantaranya, pengoperasian yang mudah dan efisien waktu. Cara kerja sistem *batch* yaitu memasukkan adsorben ke dalam wadah yang berisi larutan, selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Adsorben dapat diperoleh dari pemanfaatan limbah yang berada di sekitar kita, antara lain sabut kelapa, tongkol jagung, dan cangkang telur.

Cangkang telur mengandung unsur CaCO_3 dan protein asam mukopolisakarida yang dapat mengikat ion logam berat seperti ion Fe (II) (Farizan, 2018). Cangkang telur ayam merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga maupun kegiatan perdagangan makanan. Menurut Dinas Peternakan Provinsi Jawa Timur, produksi telur yang berasal dari ayam petelur sebesar 475.949 kg pada tahun 2018 yang mengalami kenaikan dimana pada tahun 2017 jumlahnya sebesar 467.505 kg. Jumlah produksi telur ayam ini mempengaruhi konsumsi telur ayam. Konsumsi telur ayam ini juga menghasilkan limbah berupa cangkang telur. Limbah cangkang telur langsung dibuang tanpa dimanfaatkan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Farizan, 2018), cangkang telur kampung mampu menyerap Fe sebesar 83,35% dengan waktu perendaman selama 3 jam. Cangkang telur ayam ras mampu menyerap Fe sebesar 99,82% dengan waktu pengadukan 60 menit (Asip & Mardhiah, 2008). Cangkang telur puyuh mampu menyerap Fe sebesar 91,40% dengan waktu perendaman 1 jam (Saleha, 2018).

Dari uraian latar belakang di atas dapat diidentifikasi bahwa:

- ### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai batasan masalah tertentu, di antaranya adalah:

- [illegible]

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan adsorpsi adsorben dari limbah cangkang telur ayam berdasarkan variasi dosis adsorben dan waktu kontak terhadap logam besi (Fe) dengan sistem batch?
2. Berapakah variasi massa adsorben dan waktu kontak terhadap logam besi (Fe) yang paling efektif?

1.5 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan adsorpsi adsorben dari limbah cangkang telur ayam berdasarkan variasi dosis adsorben dan waktu kontak terhadap logam besi (Fe) dengan sistem *batch*.
2. Mengetahui variasi massa adsorben dan waktu kontak terhadap logam besi (Fe) yang paling efektif.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi ruang lingkup lokasi dan waktu penelitian. Berikut merupakan ruang lingkup penelitian ini:

1.6.1 Ruang Lingkup Lokasi

Ruang lingkup lokasi penelitian ini yaitu Laboratorium Mandiri dan Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

1.6.2 Ruang Lingkup Waktu

Ruang lingkung waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2020 – Januari 2021.

1.7 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat bagi pihak-pihak yang terkait. Manfaat yang diperoleh antara lain:

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan sebagai bahan referensi dalam menambah ilmu dan wawasan mahasiswa di UIN Sunan Ampel Surabaya tentang adsorben alami dari limbah cangkang telur dalam upaya penurunan kadar besi (Fe).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber data untuk membandingkan alternatif pengolahan air sederhana dengan menggunakan adsorben.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan oleh masyarakat secara langsung untuk mengurangi kadar besi (Fe) pada air tanah yang dimanfaatkan masyarakat dengan menggunakan pengolahan air sederhana dengan menggunakan adsorben alami dari limbah cangkang telur ayam.

Besi (Fe) juga memiliki sifat fisik dan kimia sebagai berikut:

- Faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan besi (Fe) di air adalah sebagai berikut:

- Suhu yang tinggi menyebabkan turunnya kadar CO_2 dalam air, peningkatan suhu air juga dapat menguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan besi (Fe) pada air menjadi tinggi.

- pH air akan berpengaruh terhadap kelarutan kadar besi dalam air, apabila pH air rendah akan berakibat terjadinya proses korosif sehingga menyebabkan larutnya besi dan logam lainnya dalam air. Dalam keadaan pH yang rendah, besi dalam air akan berbentuk ferro dan ferri, bentuk ferri akan mengendap dan tidak larut dalam air serta tidak dapat dilihat dengan mata sehingga mengakibatkan air menjadi berwarna, berbau, dan berasa.

- Air hujan yang turun jauh ke tanah dan mengalami infiltrasi masuk ke dalam tanah yang mengandung FeO akan bereaksi H_2O dan CO_2 dalam tanah dan

Cangkang telur memiliki banyak warna, antara lain kehijauan, putih, bintik-bintik hitam dan putih. Hal ini dipengaruhi oleh pigmen sel darahnya yang responsif. Warna hijau dan biru pada telur bebek maupun itik terbentuk dari sianin yang responsif, sedangkan *porphyrins* yang responsif akan menghasilkan kulit telur yang berwarna kecokelatan seperti pada telur ayam negeri.

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan penyusun utama cangkang telur berupa serbuk, tidak berasa, tidak berbau, putih, stabil di udara, tidak larut dalam air, kelarutan dalam air meningkat dengan adanya sedikit garam amonium atau karbondioksida, larut dalam asam nitrat dengan membentuk gelembung gas. Salah satu sifat kimia dari kalsium karbonat adalah dapat menetralkan asam. Cangkang telur memiliki sifat-sifat adsorpsi yang baik, seperti bentuk pori, kalsium karbonat dan protein asam mukopolisakarida yang dapat dijadikan sebagai adsorben. Gugus fungsi terpenting dari protein asam mukopolisakarida adalah amina karboksil, dan sulfat yang mampu mengikat ion logam berat agar terbentuk ikatan ion. Selain itu, cangkang telur merupakan agen netralisasi dimana logam berat dapat mengendap

2.4 Adsorpsi

Ada dua tipe adsorpsi, yaitu adsorpsi fisika dan kimia. Adsorpsi kimia terjadi dari hasil interaksi kimia antara permukaan adsorben dan adsorbat. Sedangkan adsorpsi fisika terjadi akibat adanya gaya Van der Waals dan gaya elektrostatis antara molekul adsorbat dan atom penyusun adsorben.

1. Adsorpsi fisika merupakan gaya tarik menarik antara molekul menggunakan molekul pada bagian atas padatan (intermolekuler) lebih kecil daripada gaya tarik menarik antar molekul tersebut sehingga gaya tarik menarik antara

2. Adsorpsi kimia terjadi akibat adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat menggunakan permukaan adsorben. Ikatan kimia bisa berupa ikatan ion atau ikatan kovalen. Ikatan yang terbentuk kuat sehingga spesi aslinya tidak bisa dipengaruhi. karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk maka adsorbat sulit teradsorpsi. Adsorpsi kimia diawali dengan adsorpsi fisika dimana adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen lalu menempel pada bagian atas dan membentuk ikatan kimia yang biasa adalah ikatan kovalen.

Menurut Kardivelu et al. (2003) dalam (Elfian, 2017), ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi karbon aktif yaitu :

- ## 1. Sifat Adsorben

Karbon aktif sebagai adsorben merupakan padatan berpori, yang tersusun dari unsur karbon dan berbentuk amorf dengan bentuk yang tidak jelas. Struktur pori merupakan faktor yang penting dan berhubungan dengan luas permukaan. Luas permukaan semakin besar disebabkan oleh permukaan internal yang berukuran mikro sebanyak mungkin, semakin kecil, dan banyak pori-pori karbon aktif, hal ini akan membuat jumlah molekul adsorbat yang diserap oleh adsorben akan meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori dari adsorben.

- ## 2. Ukuran Partikel

Semakin kecil ukuran partikel akan semakin cepat proses adsorpsi. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi digunakan karbon aktif yang telah dihaluskan dengan ukuran mikro. Penggerusan secara perlahan dan dilakukan

2.5 Adsorben

Adsorben merupakan padatan yang mampu menyerap adsorbat ke bagian permukaannya, adsorbat dapat berupa ion logam, zat warna maupun bahan organik. Keseimbangan adsorpsi dapat terjadi jika larutan diaplikasikan dengan adsorben dan molekul dari adsorbat akan berpindah dari larutan ke padatan hingga adsorbat tereduksi dan padatan dalam keadaan setimbang (Maghfirana, 2019a).

Syarat-syarat adsorben yang baik (Ratnasari, 2017), antara lain:

1. Mudah didapat dan harganya murah.
2. Tidak boleh mengadakan reaksi kimia dengan campuran yang akan dimurnikan.
3. Tidak terarut dalam zat yang akan diadsorpsi.
4. Memiliki daya jerap tinggi.
5. Miliki luas permukaan yang besar.
6. Bisa diregenerasi kembali dengan mudah.
7. Tidak menghasilkan residu berupa gas bau.
8. Tidak beracun.

2.6 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian ini. Daftar referensi disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis dan Judul	Tujuan	Kesimpulan
Sestry Misfadhila, Zikra Azizah, Rusdi, Cynthia Diane Putri Chaniago. (2018). <i>“Pengaplikasian Cangkang Telur dan Karbon Aktif Sebagai Adsorben Logam Timbal”</i> .	Penelitian ini bertujuan membandingkan efektifitas cangkang telur ayam dengan karbon aktif sebagai adsorben pada penyerapan logam berat Pb ²⁺	Adsorben ini dapat digunakan sebagai adsorben logam timbal dan kapasitas adsorpsi cangkang telur terhadap cemaran logam timbal lebih baik daripada kapasitas adsorpsi karbon aktif.

Penulis dan Judul	Tujuan	Kesimpulan
Farizan, Rahmad. (2018). <i>“Penurunan Kadar Ion Fe(II) dalam Air Menggunakan Cangkang Telur Ayam Kampung dengan Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman”</i> .	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi dan waktu perendaman serbuk cangkang telur ayam kampung terhadap penurunan kadar Ion Fe (II) dalam air.	Semakin tinggi penambahan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam kampung dan semakin lama waktu perendaman yang dilakukan maka semakin tinggi pula penurunan kadar ion Fe(II) dalam air
Dian, Ninis Ratnasari. (2017). <i>“Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)”</i> .	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan penurunan kadar Cu limbah cair yang tidak diberi serbuk cangkang telur ayam potong dengan limbah cair yang diberi konsentrasi serbuk cangkang telur ayam potong 20 gr/l, 25 gr/l dan 30 gr/l dengan lama kontak 90 menit.	Penurunan kadar Cu dengan perlakuan penambahan serbuk cangkang telur ayam potong sebesar 20 gr/l, 25 gr/l, dan 30 gr/l berturut turut adalah 26,37%, 46,15% dan 69,23%.
Agarwal, Animesh; Kumar, Puneet Gupta. (2014). <i>“Removal of Cu & Fe from aqueous solution by using eggshell powder as low cost adsorbent”</i> .	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi dari adsorben bubuk cangkang telur terhadap pengujian Cu dan Fe.	Penelitian menunjukkan bahwa bubuk cangkang telur sebagai adsorben alami dapat digunakan dalam proses pengolahan logam berat dan efisiensi mungkin setinggi 100% dengan pemilihan jumlah adsorben yang tepat. Penelitian ini menunjukkan bahwa dalam campuran ion logam terdapat penurunan konsentrasi yang cukup besar.
Novriyani, Terry Susanto; Atmono, Natalina. (2017). <i>“Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam sebagai Media Adsorben dalam Penurunan Kadar Logam</i>	Penelitian ini bertujuan mengetahui potensi penggunaan adsorben dari cangkang telur untuk menurunkan kadar logam kromium heksavalen (Cr^{6+}) pada limbah elektroplating.	Pada variasi mesh adsorben 40, 60, dan 80 yang paling efektif untuk menyerap krom heksavalen terjadi pada mesh 80 dengan persentase 53%.

Penulis dan Judul	Tujuan	Kesimpulan
<i>Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) Pada Limbah Cair Industri Elektroplating”.</i>		
Khairi, Muhammad Mahfudz; Prasetyo, Frida Utami; Fitriyanto, Sigit. (2018). “Pemanfaatan Cangkang Telur Gallus Sp. Sebagai Adsorben Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Industri Batik”.	Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas penyerapan logam kadmium oleh adsorben cangkang telur ayam terhadap air limbah industri batik sehingga dapat menjadi solusi adsorben yang lebih efektif, murah, dan ramah lingkungan.	Adsorben dapat menurunkan konsentrasi Cd pada limbah industri batik dengan efektivitas 90,25% dengan massa optimum 6 gram.
Satriani, Dewi; Ningsih, Purnama; Ratman. (2016). “Serbuk Dari Limbah Cangkang Telur Ayam Ras sebagai Adsorben terhadap Logam Timbal (Pb).”	Penelitian ini bertujuan menentukan waktu optimum, berat optimum dan kapasitas adsorpsi cangkang telur ayam ras pada kondisi optimum.	.Adsorpsi optimum terjadi pada waktu 30 menit dengan berat adsorben 1 gram dan persentase logam timbal yang terserap yaitu 98,91%. Kapasitas adsorpsi sebesar 0,078 mg Pb/mg.
Maharani, Vania; Kuntjoro, Sunu; Kartika, Novita Indah. (2018). “Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo”.	Penelitian ini bertujuan menguji pengaruh serbuk cangkang telur ayam sebagai adsorben logam Cd dan menguji pengaruh perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam terhadap persentase penurunan kadar Cd.	Berdasarkan uji statistik, perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam berpengaruh secara nyata terhadap penurunan logam berat Cd pada limbah cair batik Jetis Sidoarjo.
Badrealam, S; Roslan, F.S; Dollah, Z; Bakar, A. A. A; Handan, R. (2018). “Exploring the Eggshell from Household Waste as	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas cangkang telur untuk menurunkan kadar Cu dan Zn.	Hasil menunjukkan cangkang telur mampu menurunkan kadar Cu dan Zn lebih dari 90% dengan waktu kontak 60 menit dan 120 menit sedangkan konsentrasi awal yang optimum yaitu 1 ppm untuk menurunkan

BAB III

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk pengambilan limbah cangkang telur ayam dilakukan di tempat yang menghasilkan limbah cangkang telur ayam yang berada di Sidoarjo. Tempat penelitian sampel dilaksanakan di Laboratorium Mandiri dan uji sampel di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dan analisis hasil penelitian ini dilaksanakan selama bulan Mei 2020 sampai Januari 2021.

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir merupakan alur sistematis yang bertujuan untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi logam besi (Fe) dengan menggunakan adsorben dari cangkang telur ayam ras melalui sistem *batch* sehingga dapat diketahui efektivitas terhadap logam besi (Fe) dalam sampel yang selanjutnya dianalisis berdasarkan studi literatur. Setelah dianalisis selanjutnya didapatkan kesimpulan dan saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Kerangka pikir penelitian disajikan dalam Gambar 3.1 sebagai berikut:

Penelitian merupakan penelitian eksperimental dan dilakukan di laboratorium. Sampel yang berbeda diadsorpsi menggunakan adsorben dari cangkang telur ayam dengan massa adsorben dan waktu kontak yang berbeda. Kemudian sampel air didiamkan selama 1 jam dan disaring, lalu dianalisis menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*), ICP merupakan teknik analisis dengan cara pengatomisasian elemen sehingga memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur untuk mengetahui kadar besi (Fe) dalam sampel. Berikut disajikan rancangan percobaan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

A	B				
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
A ₁	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₁ B ₅
A ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₂ B ₅

Keterangan :

A : Waktu kontak

A₁ : Waktu kontak 30 menit

A₂ : Waktu kontak 60 menit

B : Massa adsorben

B₁ : Massa adsorben 0,5 gr

B₂ : Massa adsorben 1,0 gr

B₃ : Massa adsorben 1,5 gr

B₄ : Massa adsorben 2,0 gr

B₅ : Massa adsorben 2,5 gr

A₁ B₁ : Perlakuan waktu kontak 30 menit, massa adsorben 0,5 gr

A₁ B₂ : Perlakuan waktu kontak 30 menit, massa adsorben 1,0 gr

A₁ B₃ : Perlakuan waktu kontak 30 menit, massa adsorben 1,5 gr

A₁ B₄ : Perlakuan waktu kontak 30 menit, massa adsorben 2,0 gr

A₁ B₅ : Perlakuan waktu kontak 30 menit, massa adsorben 2.5 gr

A₂ B₁ : Perlakuan waktu kontak 60 menit, massa adsorben 0,5 gr

Peralatan dan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Peralatan	
Nama Alat	Fungsi
plastik	Wadah sampel air
	Wadah untuk proses pencucian cangkang ayam
	Menghancurkan cangkang telur ayam serbuk
penyimpanan	Tempat penyimpanan cangkang telur ayam
	Menghilangkan kandungan air pada telur
Analitik	Menimbang massa adsorben
	Menentukan ukuran adsorben yang digunakan
termometer	Menstabilkan suhu

Bahan		
No.	Nama Bahan	Fungsi
1.	Cangkang telur ayam	Bahan pembuatan adsorben
2.	Serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Membuat limbah artifisial besi (Fe)
3.	Aquades	Melarutkan dan mengencerkan sampel limbah Fe

Metode Analisis Data

Analisis Deskriptif Kuantitatif

Efektivitas dari adsorpsi menggunakan limbah cangkang telur dalam menurunkan kadar besi (Fe) dinyatakan dengan persen (%), persentase adsorpsi dapat dihitung dengan rumus :

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_a)}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

% adsorpsi : persentase adsorpsi

C₀ : konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_a : konsentrasi akhir larutan (mg/L)

4.2 Karakterisasi Adsorben

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kadar Air Adsorben

Diketahui kadar air pada sampel adsorben sebesar 0%. Hasil ini sesuai dengan SNI No. 0258-88 tentang syarat mutu karbon aktif dengan kadar air maksimal 10%. Pengujian kadar air ini berfungsi untuk mengetahui presentasi air yang terkandung pada adsorben cangkang telur ayam. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan turunnya daya adsorpsi suatu adsorben (Puspita dkk., 2013).

Limbah yang digunakan adalah limbah artifisial. Limbah dibuat dengan melarutkan serbuk senyawa besi (II) sulfat heptadihidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dengan aquades. Limbah besi artifisial dibuat berdasarkan pada perhitungan molaritas dan konsentrasi yang dibutuhkan. Konsentrasi besi yang digunakan yaitu sebesar 5 mg/l. Larutan induk dibuat terlebih dahulu yaitu 1000 mg/l. berikut perhitungan pembuatan larutan induk besi 1000 mg/l dari serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

$$\text{Ar} . \text{Fe} = 56$$
$$M_r \text{ FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278$$

Volume 500 mL

Kemurnian = 99%

$$M = \frac{n}{v}$$

$$M = \frac{gr}{Ar.Fe.L}$$

$$M = \frac{gr}{56 L}$$

$$\frac{gr}{L} = 0,0178 \text{ M}$$

Larutan induk Fe yang akan dibuat molaritasnya 0,0178 M

$$M = \frac{gr}{\text{Mr. } FeSO_4 \cdot 7H_2O} \times \frac{1000}{mL}$$

$$0,0178 M = \frac{gr}{278} \times \frac{1000}{500}$$

$$gr = \frac{0,0178 \times 278 \times 500}{1000}$$

$$= 2,47 \text{ gram} = \frac{2,47 \text{ gr}}{0,99}$$

$$= 2,5 \text{ gram } FeSO_4 \cdot 7H_2O$$

Jadi jumlah serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dibutuhkan sebesar 2,5 gram untuk dilarutkan ke dalam 500 mL aquades. Setelah itu untuk membuat sampel air limbah 5 mg/L, larutan induk diencerkan lagi dengan aquades.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

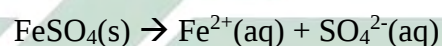
$$1000 \frac{mg}{l} \cdot V_1 = 5 \frac{mg}{l} \cdot 2500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \frac{mg}{l} \cdot 2500 \text{ mL}}{1000 \frac{mg}{l}} = 12,5 \text{ mL}$$

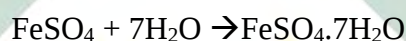
Jadi untuk membuat 2.500 liter limbah Fe 5 mg/l dibutuhkan larutan induk sebanyak 12,5 mL. Jumlah limbah yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebanyak 100 mL setiap reaktor, reaktor yang tersedia yaitu 20 reaktor untuk sampel dan 1 reaktor untuk kontrol.

Dari hasil pembacaan, diperoleh konsentrasi limbah artifisial Besi (Fe) sebesar 1,231 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara hasil pengujian dengan perhitungan secara teori. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, ketidakakuratan penimbangan serbuk logam besi dan pada saat pengenceran atau *human error* sehingga memungkinkan hasil yang tidak sesuai dengan perhitungan (Maghfirana, 2019).

FeSO₄ atau disebut besi (II) sulfat akan terionisasi jika dalam larutan menjadi Fe²⁺ dan SO₄²⁻. Persamaan reaksi dapat dilihat di bawah ini:



Pada proses ini FeSO_4 ditambahkan dengan $7\text{H}_2\text{O}$ maka akan membentuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



4.4 Pengujian Penyerapan Adsorben Terhadap Kadar Besi (Fe) pada Sampel Limbah Artifisial

Tahap pengujian adsorben cangkang telur ayam untuk menurunkan kadar besi (Fe) pada sampel limbah artifisial dengan menggunakan metode adsorpsi sistem *batch*. Sistem *batch* dilakukan dengan cara mencampurkan adsorben dengan sampel yang mengandung limbah tertentu dan dilakukan pengadukan dengan waktu tertentu serta pengendapan selama beberapa waktu untuk memisahkan larutan dan filtrat, hal ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi atau kadar penurunan suatu limbah (Elfian, 2017). Dalam penelitian ini variasi yang ditentukan yaitu massa adsorben dan waktu pengadukan. Adsorben cangkang telur ayam ditimbang sebanyak 0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram yang kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berisi larutan besi (Fe) sebanyak 100 ml. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit dan 60 menit. Pada proses pengadukan *stirring bar* berfungsi sebagai pengaduk di dalam gelas beaker yang berisi sampel. Berikut Gambar 4.6 proses pengadukan antara sampel limbah mengandung besi (Fe) dengan adsorben cangkang telur ayam.

Setelah proses pengadukan, sampel didiamkan selama 1 jam, kemudian sampel disaring menggunakan corong dan kertas saring whatman 42. Hal ini bertujuan untuk memisahkan larutan dengan filtrat. Karakteristik larutan yang telah disaring yaitu berwarna bening dan tidak berbau. Larutan yang didapatkan kemudian diukur kadar besi (Fe) menggunakan alat ICP.

Dari hasil penelitian berupa kadar besi (Fe) pada limbah artifisial sebelum dan sesudah melewati proses adsorpsi sistem *batch*. Pada percobaan menggunakan waktu kontak yaitu 30 menit dan 60 menit. Perbedaan waktu kontak diuji dengan variasi massa adsorben sebesar 0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram dengan konsentrasi besi (Fe) yaitu 1,231 mg/L. Hasil rata-rata pengukuran besi (Fe) dengan variasi waktu kontak disajikan pada Tabel 4.2.

Efisiensi penyerapan logam besi bernilai negatif sehingga dapat dikatakan tidak terjadi penurunan daya serap logam besi, hal ini disebabkan oleh proses desorpsi Fe^{2+} yang sudah terjerap di dalam adsorben bahkan proses desorpsi logam Fe yang terkandung dalam adsorben tersebut, adsorben yang digunakan juga mengandung senyawa besi (Zakaria, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh Mahfudz pada tahun 2018 yang menggunakan adsorben dari cangkang telur ayam menunjukkan bahwa pada sampel pertama, efisiensi bernilai negatif. Namun tidak menjelaskan mengapa hasil tersebut bisa negatif. Pada waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 1,0 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 86,28%. Pada waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 1,5 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 95,45%. Pada waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 2,0 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 97,87%. Pada waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 2,5 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 99,07%. Rata-rata efisiensi persentase dari waktu kontak 30 menit dengan variasi massa adsorben 0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram yaitu 74,87%.

Pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 0,5 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 68,48%. Pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 1,0 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 92,81%. Pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 1,5 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 99,65%. Pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 2,0 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 99,42%. Pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 2,5 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar 99,35%. Rata-rata efisiensi persentase dari waktu kontak 30 menit dengan variasi massa adsorben 0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram yaitu 91,94%.

sebesar 99,65%. Tetapi pada massa adsorben 2,0 gr dan 2,5 gr, penurunan persentase penyerapan yang tidak signifikan yaitu 99,42% dan 99,41% ini terjadi karena pada massa adsorben 1,5 gr, ketersediaan permukaan adsorben sebanding dengan banyaknya adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben dalam larutan. Sedangkan pada massa adsorben 2,0 gr dan 2,5 gr efisiensi penyerapan menurun karena permukaan aktif pada adsorben sudah tercapai jenuh sehingga tidak memungkinkan untuk menyerap adsorbat lagi. Selain itu jika massa adsorben ditingkatkan lagi maka tidak akan ada tambahan penyerapan yang signifikan (Satriani dkk., 2017).

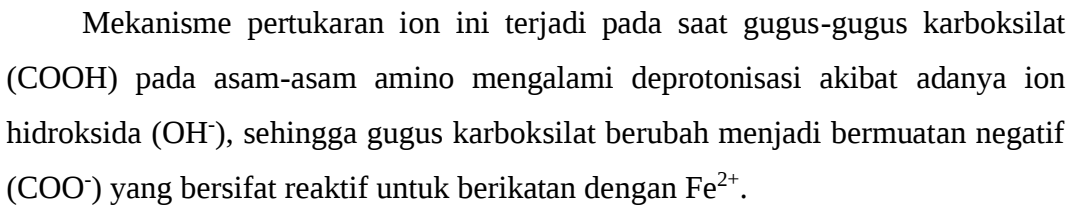
Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak

Data hasil penelitian berupa kadar besi (Fe) yang diperoleh sebelum limbah artifisial sebelum dan sesudah melewati proses adsorpsi. Penelitian ini menggunakan melewati proses adsorpsi *batch* yang dilakukan dengan variasi waktu kontak yaitu sebesar 30 menit dan 60 menit. Pengaruhnya diuji variasi massa adsorben sebesar 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr. Dengan dengan kadar awal sampel limbah artifisial besi (Fe) yang sebesar 1,231 mg/L. Berikut ini Gambar 4.8 grafik efisiensi rata-rata pengurangan kadar besi (Fe) berdasarkan waktu kontak.

4.7 Mekanisme Adsorpsi

Sifat adsorpsi dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsi dan struktur pori. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori suatu adsorben maka semakin besar luas permukaannya (Arif, 2014).

Pada penelitian ini, proses adsorpsi menggunakan cangkang telur ayam. Cangkang telur ayam memiliki kandungan kalsit, yaitu kristalin dari kalsium karbonat (CaCO_3) 90,9%. Kutikula merupakan bagian terluar dari cangkang telur, kandungan terbesar dari kutikula adalah pigmen cangkang telur, bagian dalam kutikula tersusun atas lapisan film tipis kristal hidroksiapatit, pada kristal ini terdapat lapisan palisade yang berfungsi sebagai adsorben dalam menyerap logam. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Bertus, 2014), gugus fungsi hidroksil (O-H) dapat berikatan dengan ion logam sehingga terjadi mekanisme adsorpsi dan penyerapan. Asam amino yang terkandung dalam protein saling berikatan melalui ikatan peptide antara gugus amin dengan gugus karboksilat. Asam amino mampu melepaskan ion H^+ dari gugus karboksilat ketika berada dalam suatu larutan, sedangkan gugus amina akan menerima ion H^+ , sehingga kedua gugus tersebut akan bermuatan. Konsentrasi OH^- yang tinggi mampu mengikat ion-ion H^+ yang terdapat pada gugus $-\text{NH}_3^+$ saat berada pada kondisi larutan basa. Apabila berada pada kondisi larutan asam, maka konsentrasi ion H^+ yang tinggi mampu berikatan dengan ion $-\text{COO}^-$, sehingga akan terbentuk gugus $-\text{COOH}$. Berikut Gambar 4.9 mengenai struktur asam amino. Mekanisme dugaan pertukaran ion pada adsorben dengan ion logam Fe (II) dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Data yang telah diperoleh kemudian dilakukan uji normalitas terlebih dahulu untuk mengetahui data tersebut terdistribusi secara normal atau tidak normal. Uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Uji Normalitas Berdasarkan Waktu Kontak

	Waktu Kontak	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Hasil Penurunan	30 Menit	,580	10	,000
	60 Menit	,685	10	,001

Dari tabel di atas diketahui bahwa pada waktu kontak 30 menit dan 60 menit dengan menggunakan uji *Shapiro-Wilk* diperoleh nilai sig. masing-masing 0,000 dan $0,001 < 0,05$. Dengan demikian diperoleh keputusan bahwa penyerapan logam besi (Fe) berdasarkan waktu kontak berasal dari populasi yang berdistribusi tidak normal. Uji *Shapiro-Wilk* dipilih karena jumlah sampel kurang dari 50. Uji *Shapiro-Wilk* standart signifikan apabila nilainya $> 0,05$ maka distribusi data dinyatakan memenuhi asumsi normalitas, dan jika nilainya $< 0,05$ maka distribusi data dinyatakan tidak normal (Oktaviani, 2014).

Data hasil analisa di atas menunjukkan distribusi data tidak normal. Maka dilakukan uji non parametris dengan Uji Kruskal Wallis. Berikut merupakan hasil Uji Kruskal Wallis yang disajikan pada Tabel 4.5 ini:

Tabel 4.5 Uji Kruskal Wallis Berdasarkan Waktu Kontak

Hasil Penurunan	
Kruskal-Wallis H	2,293
Df	1
Asymp. Sig.	,130

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa nilai Asymp. Sig 0,130 $> 0,05$ yang menyatakan bahwa H_0 diterima atau tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada penyerapan logam berat besi (Fe) pada variasi waktu kontak. variasi waktu kontak ini mampu menurunkan konsentrasi besi. Hal ini Kemungkinan disebabkan karena sedikitnya waktu kontak yang digunakan.

Tabel 4.6 Uji Normalitas Berdasarkan Massa Adsorben

	Massa Adsorben	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Hasil Penurunan	0,5 gr	,809	4	,120
	1,0 gr	,881	4	,342
	1,5 gr	,904	4	,450
	2,0 gr	,880	4	,339
	2,5 gr	,901	4	,438

Dari tabel di atas diketahui bahwa pada massa adsorben 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr dengan menggunakan uji *Shapiro-Wilk* diperoleh nilai sig. masing-masing 0,120, 0,342, 0,240, 0,339 dan 0,438 > 0,05. Dengan demikian diperoleh keputusan bahwa penyerapan logam besi (Fe) berdasarkan massa adsorben berasal dari populasi yang berdistribusi normal. Uji *Shapiro-Wilk* dipilih karena jumlah sampel kurang dari 50. Uji *Shapiro-Wilk* standart signifikan apabila nilainya > 0,05 maka distribusi data dinyatakan memenuhi asumsi normalitas, dan jika nilainya < 0,05 maka distribusi data dinyatakan tidak normal (Oktaviani, 2014). Selanjutnya dilakukan uji homogenitas untuk mengetahui apakah variasi tersebut homogen atau tidak. Berikut uji homogenitas dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Uji Homogenitas Berdasarkan Massa Adsorben

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil	Based on Mean	6,962	4	15	,002
Penurunan	Based on Median	2,104	4	15	,131
	Based on Median and with adjusted df	2,104	4	3,043	,282
	Based on trimmed mean	5,727	4	15	,005

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa varian data tersebut bersifat tidak homogen karena nilai signifikan $0,02 < 0,05$. Uji homogenitas memiliki tujuan untuk melihat pola keragaman dari data pengujian, nilai harus > 0,05 untuk menunjukkan bahwa data tersebut beragam (Rosita dkk., 2013)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:

1. Adsorben dari cangkang telur memiliki kemampuan adsorpsi terhadap logam besi (Fe) dalam air limbah sebesar -4,31% - 99,65%.
 - a. Berdasarkan waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr didapatkan rata-rata efisiensi sebesar 74,87%.
 - b. Berdasarkan waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr didapatkan rata-rata efisiensi sebesar 91,94%.
2. Kemampuan optimal penyerapan logam besi (Fe) dengan menggunakan adsorben dari cangkang telur ayam terjadi pada massa adsorben 1,5 gr dengan waktu kontak 60 menit, yaitu sebesar 99,65%.

5.2 Saran

Saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan proses adsorpsi kontinyu, untuk mengetahui proses adsorpsi yang lebih efisien.
2. Penelitian dilakukan dengan menambahkan variasi waktu pengadukan.
3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan polutan limbah yang berbeda seperti, timbal, mangan, kadmium dan logam berat lain untuk mengetahui daya serap logam berat lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press.
- Agarwal, A., & Gupta, P. K. (2014). *Removal of Cu & Fe From Aqueous Solution by Using Eggshell Powder as Low Cost Adsorbent*. 5.
- Ameilia, D. (2017). *Analisis Kualitas Air Tanah Dangkal (Sumur) untuk Keperluan Air Minum di Desa Pematang Kecamatan Kalianda Kabupaten Lampung Selatan Tahun 2017*. 59.
- Arif, A. R. (2014). *Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium edule) Terhadap Penurunan Fenol*. UIN Alauddin Makassar.
- Asip, F., & Mardhiah, R. (2008). *Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch*. 15(2), 5.
- Badrealam, S., Roslan, F. S., Dollah, Z., Bakar, A. A. A., & Handan, R. (2018). *Exploring The Eggshell From Household Waste as Alternative Adsorbent for Heavy Metal Removal From Wastewater*. 020077. <https://doi.org/10.1063/1.5062703>
- Bertus, M. Y. P. (2014). *Karakterisasi Ffir Polibend Adsorben Serbuk Biji Buah Kelor (Moringa Oleifera) Dan Cangkang Ayam Ras Ras Untuk Pengolahan Air Gambut Di Daerah Palu Barat*. *Jurnal Akademika Kimia*, 3(1), 9.
- Cahyaningrum, P. U. (2016). *Daya Adsorpsi Adsorben Kulit Salak Termodifikasi Terhadap Ion Tembaga (II)*. 92.
- Carvalho, J., Araujo, J., & Castro, F. (2011). *Alternative Low-cost Adsorbent for Water and Wastewater Decontamination Derived from Eggshell Waste: An Overview*. *Waste and Biomass Valorization*, 2(2), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9058-y>
- Elfian, F. (2017). *Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Warna dan Asam Lemak Bebas pada Crude Palm Olein*. 46.
- Farizan, R. (2018). *Penurunan Kadar Ion Fe(II) dalam Air Menggunakan Cangkang Telur Ayam Kampung dengan Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman*. 8.

- Ibrahim, A. (2016). *Penurunan Kadar Ion Besi (Fe^{2+}) dalam Air Menggunakan Serbuk Kulit Pisang Kepok*. 100.
- Jasinda. (2013). *Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur Bebek yang Diaktivasi Secara Termal*. Universitas Sumatera Utara.
- Maghfirana, C. A. (2019). *Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong Terhadap Logam Berat (Pb) Menggunakan Sistem Kontinyu*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Maharani, V., Kuntjoro, S., & Indah, N. K. (2018). *Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo*. 7(1), 6.
- Mahfudz, M. K., Utami, F. P., & Fitriyanto, S. (2018). *Pemanfaatan Cangkang Telur Gallus Sp. Sebagai Adsorben Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Industri Batik*. *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, 35(2), 103. <https://doi.org/10.22322/dkb.v35i2.4245>
- Misfadhila, S., Azizah, Z., & Chaniago, C. D. P. (2018). *Pengaplikasian Cangkang Telur dan Karbon Aktif Sebagai Adsorben Logam Timbal*. 10(2), 8.
- Nevyana, F. (2019). *Reduksi Kadar Mangan (Mn) pada Air Tanah di Sekitar Wilayah Porong Menggunakan Manganase Greensand dalam Kolom Kontinyu*. 78.
- Nurlaili, T., Kurniasari, L., & Ratnani, R. D. (2017). *Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Zat Warna Methyl Orange Dalam Larutan*. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 2(2). <https://doi.org/10.31942/inteka.v2i2.1938>
- Oktaviani, M. A. (2014). *Perbandingan Tingkat Konsistensi Normalitas Distribusi Metode Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, dan Skewness-Kurtois*. 3, 9.
- Ratnasari, N. D. (2017). *Penurunan Kadar Tembaga(Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)*. Universitas Jember.

- Genesys 20*. Universitas Diponegoro.
- ani, D., Ningsih, P., & Ratman, R. (2017). *Serbuk Dari Limbah Telur Ayam Ras Sebagai Adsorben Terhadap Logam Timbal*. *AKADEMIKA KIMIA*, 5(3), 103. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2016.v5.i3.8032>
- nto, T. N., Atmono, & Natalina. (2017). *Pemanfaatan Limbah Kulit Ayam Sebagai Media Adsorben Dalam Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) pada Limbah Cair Industri Elektronik*. *Ecolab*, 11(1), 27–31. <https://doi.org/10.20886/JKLH.2017.11.1.27-31>
- n, W. M. (2016). *Optimalisasi Kalsium Karbonat dari Cangkang Telur Ayam sebagai Adsorben pada Limbah Cair Industri*. *Produksi Pasta Komposit*. *Al-Kimia*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v4i2.16>