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

TUGAS AKHIR



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 keaslia 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

Dosen Pembimbing II

Sarita Oktorina, M.Kes. NIP. 198710052014032003 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

Down Penguji I

Sarita Oktorina, M.Kes. NIP. 198710052014032003 Dosen Penguji II

Rr Dial Nugrahen Setyowati M.T.

NIP. 198205012014032001

Dosen Penguji III

Arqowi Priordi, M. Eng.

NIP. 198701032014031001

Dosen Penguji IV

Ida Munfarida M.T.

NIP. 198411302015032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

WIN Strap Ampel Surabaya

or Evi Fatimatur Ruydiyah, 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	an : SAINS DAN TEKNOLOGI/ TEKNIK LINGKUNGAN			
E-mail address	: viviannovia@gmail.com			
UIN Sunan Ampe ■ Skripsi □ yang berjudul :	gan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan l Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah : Tesis Desertasi Lain-lain () N LIMBAH CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI ADSORBEN			
UNTUK MENUI	RUNKAN KADAR BESI (FE) DENGAN SISTEM BATCH			
Perpustakaan UII mengelolanya d	yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif ini N Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, alam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan			

enampilkan/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 (CaCO₃) 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 ratarata 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)

ABSTRACT

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

Chicken eggshell is a waste produced from the household activities and the food industries. Chicken eggshell contains calcium carbonate (CaCO₃) and mucoplysaccaharide acid protein that can be developed into adsorbent. The purpose of this study was to determine the adsorption capability of chicken eggshell waste to ferro (Fe) using batch system and the most effective variations of the adsorbent dose and stirring time. This research is an experimental study with variation of stirring time to be used was 30 minutes and 60 minutes, while the adsorbent mass was 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr and 2,5 gr. The result showed that the average adsorption at stirring time variation of 30 minutes and 60 minutes were 74,87% and 91,94% respectively. While the average adsorption at adsorbent mass variation of 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr and 2,5 gr were 32,09%, 89,55%, 97,55%, 98,65% and 99,21% respectively. The adsorbent mass of 1,5 gr with stirring time of 60 minutes was the highest adsorption, that is 99,65%. Based on this research, it showed that chicken eggshell adsorbent can reduce iron (Fe) levels with stirring time and adsorbent mass variations.

Keywords: Adsorption, chicken eggshell, iron (Fe)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	V
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan	4
1.6 Ruang Lingkup	4
1.6.1 Ruang Lingkup Lokasi	4
1.6.2 Ruang Lingkup Waktu	4
1.7 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Logam Berat	6
2.2 Besi (Fe)	6

2.3	Cangkang Telur Ayam 8		
2.4	Adsorpsi	. 11	
2.5	Adsorben 14		
2.6	Penelitian Terdahulu	. 14	
BAB III ME	ETODOLOGI PENELITIAN	. 18	
3.1	Lokasi Penelitian	18	
3.2	Waktu Penelitian	. 18	
3.3	Tahapan Penelitian	18	
	3.3.1 Kerangka Pikir Penelitian		
	4.3.1 Tahapan Penelitian	. 19	
	4.3.2 Rancangan Percobaan	21	
4.4	Alat dan Bahan Penelitian	. 22	
4.5	Langkah Kerja Penelitian	23	
	4.5.1 Pembuatan Adsorben dari Cangkang Telur Ayam	23	
	4.5.2 Pembuatan Limbah Artifisial Besi (Fe)	23	
	4.5.3 Pengujian Penyerapan Adsorben terhadap Kadar Besi (Fe)	25	
4.6	Metode Analisis Data	31	
	4.6.1 Analisis Deskriptif Kuantitatif	31	
	4.6.2 Metode Statistik	31	
4.7	Hipotesis Penelitian	33	
BAB IV HA	ASIL DAN PEMBAHASAN	34	
4.1	Proses Pembuatan Adsorben Cangkang Telur Ayam	34	
4.2	Karakterisasi Adsorben	37	
4.3	Pembuatan Limbah Artifisial	. 37	

4.4	Pengujian Penyerapan Adsorben Terhadap Kadar Besi (Fe) pada	
	Sampel Limbah Artifisial	. 39
4.5	Hasil Pengukuran Pengujian Massa Adsorben dan Waktu Kontak	
	Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe)	. 40
4.6	Efisiensi Penyerapan Kadar Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak	(
	dan Massa Adsorben	. 41
	4.6.1Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Massa Adsorber	n 43
	4.6.2Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak	. 44
4.7	Mekanisme Adsorpsi	. 46
4.8	Pengujian Hipotesis	. 47
BAB V PEN	NUTUP	. 51
5.1	Kesimpulan	. 51
5.2	Saran	. 51
DAFTAR P	USTAKA	. 52
I AMDIRAN	T .	55

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 Adsorb	en
Cangkang Telur Ayam	. 40
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi P <mark>en</mark> yer <mark>ap</mark> an Be <mark>si (Fe)</mark> Berdasarkan Massa Adsorbe	en
	. 43
Gambar 4.8 Grafik Efisiens <mark>i P</mark> eny <mark>erapan</mark> B <mark>es</mark> i (Fe) <mark>B</mark> erdasarkan Waktu Kontak.	. 45
Gambar 4.9 Struktur Asam <mark>Am</mark> ino	. 47
Gambar 4.10 Mekanisme Dugaan Pertukaran Ion Pada Adsorben Dengan Ion	
Logam Fe(II)	. 47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu sumber kehidupan yang tidak dapat dipisahkan dari manusia adalah air. Sumber air baku yang masih banyak dimanfaatkan oleh masyarakat adalah air tanah. Air tanah adalah air yang terdapat pada lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Ketersediaan air tanah ini harus diperhatikan kualitasnya, mengingat kondisi lingkungan yang menurun akibat kegiatan industri maupun rumah tangga. Kualitas air yang digunakan untuk kegiatan sehari-hari harus memenuhi persyaratan secara fisik, kimiawi dan mikrobiologi. Salah satu pencemar yang terdapat pada air tanah adalah besi (Fe).

Kadar besi (Fe) pada air tanah pada salah satu sumur di Desa Sambibulu Kec. Taman, Kab. Sidoarjo yang diambil sebagai sampel diketahui kadar besi (Fe) sebesar 21,85 mg/l saat dilakukan uji pendahuluan pada tanggal 12 Februari 2020 di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Laboratorium Surabaya. Kadar tersebut telah melampaui baku mutu kadar besi (Fe) yang diperbolehkan menurut Permenkes RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 adalah 0,3 mg/l. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Azkiyah, 2014) menunjukkan bahwa sebuah sumur yang ada di Desa Ketapang, Kecamatan Sukodono Sidoarjo mengandung kadar besi (Fe) sebesar 19,80 mg/L, sedangkan menurut (Prihatini, 2004) kadar besi yang ada di sumur Desa Jimbaran Kulon yang dilakukan di 9 titik berkisar antara 0,37 - 1,42 mg/L. Hal tersebut menimbulkan beberapa masalah, di antaranya warna air berubah menjadi kuning kecokelatan, menimbulkan bau yang tidak sedap dan menimbulkan masalah kesehatan bagi yang mengonsumsinya secara terusmenerus. Pencemaran logam besi merupakan bentuk kerusakan yang dijelaskan dalam QS Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

Artinya: "Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)".

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 CaCO₃ 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).

Penelitian ini dilakukan untuk mencari alternatif pengolahan air dengan sederhana yang berjudul "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) pada Air Tanah dengan Sistem Batch"

1.2 Identifikasi Masalah

Dari uraian latar belakang di atas dapat diidentifikasi bahwa:

- 1. Kualitas air yang digunakan untuk kegiatan sehari-hari harus memenuhi persyaratan secara fisik, kimiawi dan mikrobiologi
- 2. Air tanah mengandung besi (Fe).
- 3. Belum adanya penanganan yang baik terhadap limbah cangkang telur ayam yang dihasilkan oleh kegiatan rumah tangga maupun usaha makanan.
- 4. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi pencemaran oleh logam berat.
- 5. Sistem *batch* memiliki keuntungan di antaranya, pengoperasian yang mudah dan efisien waktu.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai batasan masalah tertentu, di antaranya adalah:

- 1. Penelitian ini berskala laboratorium.
- 2. Penelitian ini menggunakan sampel limbah artifisial besi (Fe).
- 3. Bahan yang digunakan sebagai adsorben adalah limbah cangkang telur ayam.
- 4. Adsorben berbentuk bubuk.
- 5. Penelitian ini membahas mengenai kemampuan adsorpsi cangkang telur ayam sebagai adsorben terhadap besi (Fe).
- 6. Adsorpsi dilakukan secara batch.
- 7. Variasi yang digunakan adalah
 - a. Variasi dosis adsorben: 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr.
 - b. Variasi waktu kontak: 30 menit dan 60 menit.

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 mas<mark>sa adsorben dan waktu ko</mark>ntak 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:

1. Instansi

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).

2. Akademisi

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

3. Masyarakat

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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang terdapat di perairan yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan ataupun kehidupan jika kadar berlebihan. Logam berat juga adalah bahan alami yang terdapat di kerak bumi yang tidak dapat dihancurkan. Logam berat dapat membahayakan tubuh makhluk hidup dalam waktu yang lama jika berada dalam konsentrasi tinggi. Berat jenis atom logam berat lebih besar dari 5 gr/cm³ dan memiliki nomor atom 22 hingga 92 dengan periode atom urutan 4 hingga 7. Sumber pencemaran akibat aktivitas manusia berupa logam berat yang berasal dari proses industri atau kegiatan pertambangan. Beberapa logam yang termasuk kategori logam berat sebagai berikut: Aluminium (Al), Antimony (Sb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Kobalt (Co), Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), Besi (Fe), Mangan (Mn), Molybdenum (Mo), Salenium (Se), Perak (Ag), Timah (Sn), Timbal (Pb), Vanadium (V) dan Zink (Zn).. (Adhani & Husaini, 2017).

2.2 **Besi** (Fe)

Keberadaan besi pada kerak bumi berada di posisi empat besar. Besi dapat dijumpai dalam bentuk kation ferro (Fe²⁺) dan ferri (Fe³⁺). Pada perairan alami, besi mampu berikatan dengan anion membentuk senyawa FeCl₂, Fe(HCO₃), dan Fe(SO₄). Air yang diperuntukkan bagi keperluan sehari-hari, pengendapan besi terlarut dapat membuat porselain, pipa air, bak mandi, dan pakaian menjadi kemerahan.

Senyawa besi bersifat sukar larut dan banyak ditemukan di air tanah. Besi juga dapat berbentuk senyawa siderite (FeCO₃) yang bersifat mudah terlarut. Air tanah mengandung karbondioksida cukup tingi, dapat dilihat dengan rendahnya pH, dan kadar oksigen terlarut yang rendah bahkan berbentuk suasana anaerob. Jadi, di perairan, kadar besi (Fe²⁺) yang tinggi berkorelasi dengan kadar organik yang tinggi atau kadar besi yang tinggi terdapat pada air yang berasal dari air tanah dalam yang

bersuasana anaerob atau dari lapisan dasar perairan yang sudah tidak mengandung oksigen (Sari, 2015).

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

Lambang : Fe
 No. Atom : 26
 Golongan, periode : 8,4

4. Penampilan : Metalik mengkilap keabu-abuan

5. Massa atom : 55,854 (2) g/mol

6. Konfigurasi elektron : [Ar] 3d⁶4s²

7. Fase : Padat

8. Massa jenis (suhu kamar) :7,86 g/cm³

9. Titik lebur : 1811°K (1538°C, 2800°F) 10. Titik didih : 3134°K (2861°C, 5182°F)

11. Kapasitas kalor : (25°C) 25,10 J/(mol k)

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

1. Suhu

Suhu yang tinggi menyebabkan turunnya kadar CO₂ dalam air, peningkatan suhu air juga dapat menguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan besi (Fe) pada air menjadi tinggi.

2. pH

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.

3. Kedalaman

Air hujan yang turun jauh ke tanah dan mengalami infiltrasi masuk ke dalam tanah yang mengandung FeO akan bereaksi H₂O dan CO₂ dalam tanah dan

membentuk Fe(HCO₃) yang semakin dalam air yang meresap ke dalam tanah semakin tinggi juga kelarutan besi karbonat dalam air tersebut.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air, kadar besi (Fe) yang diizinkan untuk air bersih adalah 0,3 mg/L. Jika konsentrasi besi (Fe) dalam air cukup tinggi (Ibrahim, 2016), maka akan memberikan dampak sebagai berikut:

1. Gangguan Teknis

Endapan besi dapat bersifat korosif terhadap pipa dan mengendap pada saluran pipa, sehingga menyebabkan penyumbatan dan dapat menimbulkan noda pada wastafel, kloset, bak mandi dan peralatan lainnya.

2. Gangguan Fisik

Gangguan fisik timbul akibat adanya besi terlarut pada air adalah timbul perubahan bau, rasa, dan warna. Jika konsentrasi besi terlarut >1,0 mg/L akan menyebabkan air terasa tidak enak.

3. Gangguan Kesehatan

Besi dibutuhkan tubuh manusia untuk proses pembentukan sel-sel darah merah, fase absorbsi dalam tubuh berfungsi untuk mengendalikan jumlah besi. Besi dalam tubuh tidak dapat diekskresikan, bagi yang sering mendapatkan transfusi darah, warna kulit mereka akan berubah menjadi hitam karena terjadi pengumpulan besi (Fe) dalam tubuhnya.

Kadar besi yang tinggi dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan pada dinding usus, hal ini juga sering kali menyebabkan kematian. Jika di dalam alveolus terjadi penumpukan debu besi maka dapat menyebabkan penurunan fungsi pada paru-paru.

2.3 Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur ayam merupakan bagian terluar dari telur yang berfungsi untuk melindungi komponen isi telur dari kerusakan, baik secara fisika, kimia, maupun mikrobiologi (Jasinda, 2013). Cangkang telur memiliki 4 lapisan yaitu:

1. Lapisan Kutikula

Lapisan kutikula adalah protein transparan tidak larut yang membungkus pori-pori cangkang telur tetapi uap air dan karbondioksida masih dapat keluar karena sifatnya yang bisa dilalui gas. Kandungan protein pada lapisan ini sebesar 90% yang terdiri dari *tyrosine*, *glycine*, asam glutamik, *cystine*, dan *lysine*.

2. Lapisan Busa

Lapisan busa adalah lapisan terbesar dari kulit telur karena tersusun dari lapisan kapur dan protein yang terdiri dari kalsium fosfat, kalsium karbonat, magnesium fosfat dan magnesium karbonat. Lapisan ini terdiri dari lapisan kristal vertikal dan lapisan palisade. Lapisan kristal vertikal merupakan lapisan yang sempit dan sangat tipis yang terdiri dari kristal kalsium karbonat yang mempunyai permukaan untuk pembentukan lapisan kutikula. Lapisan palisade membentuk lapisan kapur dan terletak di atas lapisan *mamilary*. Pembentukan pori pada lapisan ini terjadi ketika kristal kalsium karbonat saling berdekatan namun gagal bergabung secara keseluruhan sehingga terbentuk celah antar kristal. Pori-pori ini berfungsi sebagai tempat pertukaran gas.

3. Lapisan *mamilary*

Lapisan *mamilary* merupakan lapisan sangat tipis dan tersusun atas mineral dan protein. Lapisan ini tersusun dari lapisan kerucut dengan penampang oval. Lapisan ini mampu menembus membran terluar melalui lapisan kerucut karbonat.

4. Lapisan membran

Lapisan membran adalah lapisan terdalam yang terdiri atas lapisan membran luar dan dalam yang melapisi isi telur. Lapisan ini tersusun dari serat protein berada di permukaan telur yang berfungsi mendukung struktur cangkang telur secara keseluruhan, sehingga sangat mempengaruhi kekuatan cangkang dan mencegah penetrasi mikroba.

Makanan yang dimakan oleh induk ayam akan mempengaruhi proses pembentukan telurnya. Fosfor, kalsium dan vitamin D dibutuhkan untuk membentuk cangkang telur. Pembentukan cangkang telur ini berasal dari cadangan kalsium dalam jumlah besar yang dikumpulkan dari massa tulang khusus yang terdapat di tulang ayam. Jika vitamin dan mineral ini kurang mengakibatkan anak, telur dan induk mengalami abnormalitas. Pakan yang rendah kalsium akan menyebabkan tipisnya cangkang telur karena dan jika dilakukan terus-menerus akan menyebabkan terhentinya proses produksi telur pada ayam.

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.

Cangkang telur yang telah diteliti mengandung gizi dari komponen penyusunnya, yaitu berupa air 1,6%, protein 3,3% dan bahan anorganik 95,1%. Komposisi kimia dari kulit telur terdiri dari lemak 0,36%, 0,93%, protein 1,71%, air serat kasar 16,21%, abu 71,34%. Serbuk kulit telur ayam mengandung kalsium berupa kalsium karbonat sekitar 39% atau sebesar 401±7,2 gram. Terdapat pula strontium sebesar 372±161µg, terdapat pula zat-zat beracun dalam jumlah kecil. Sekitar 95% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram terkandung pada kulit telur yang kering menurut Miles pada penelitian sebelumnya (Syam, 2016). Kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan garam kalsium yang terdapat pada pualam, kapur, batu kapur dan merupakan komponen utama pada cangkang telur.

Kalsium karbonat (CaCO₃) 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 menetralisasi 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

dan terdeposit dalam partikel cangkang telur. Cangkang telur memiliki luas permukaan yang besar, sehingga memiliki daya adsorpsi yang tinggi. Cangkang telur juga dapat dijadikan adsorben dalam keadaan tidak diaktivasi maupun diaktivasi (Ratnasari, 2017).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terjadi saat molekul-molekul cair atau gas yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tersebut akan terjerap pada permukaan padatan tersebut (Elfian, 2017). Metode Adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu statis (batch) dan dinamis (kolom). Cara statis (batch) yaitu sorben dimasukkan larutan yang mengandung komponen yang diinginkan. Selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan. Metode ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik adsorban, dan dinyatakan dengan hubungan antara penurunan zat yang diserap dan berat adsorban pada koefisien dari persamaan yang ada. Sehingga metode ini bertujuan untuk mempelajari kondisi optimum, baik itu konsentrasi, pH, dan kekuatan, dari adosrben yang akan digunakan untuk proses penyerapan ion besi (Fe). Sistem dinamis (kolom) yaitu sorben dilewatkan larutan yang mengandung komponen tertentu selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (efluen) sesuai yang volumnya lebih kecil. Sedangkan cara dinamis (kolom) yaitu ke dalam kolom yang telah diisi dengan sorben dilewatkan larutan yang mengandung komponen tertentu selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (efluen) sesuai yang volumenya lebih kecil.

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 elektrostatik antara molekul adsorbat dan atom penyusun adsorben.

 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 adsorbat menggunakan bagian atas adsorben bersifat lemah pada proses adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat dengan bagian atas adsorben sehingga adsorbat bisa bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian atas lainnya serta pada permukaan yang disisakan oleh adsorbat tersebut dapat terganti oleh adsorbat lainnya. keseimbangan antara permukaan padatan menggunakan molekul fluida biasanya cepat tercapai serta bersifat reversibel. Adsorpsi fisika mempunyai fungsi untuk menentukan luas permukaan dan ukuran pori.

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

pemisahan partikel sesuai dengan ukuran yang diinginkan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk memperkecil ukuran partikel dari suatu adsorben.

3. Sifat Adsorbat

Adsorpsi meningkat apabila molekul adsorbat lebih kecil dari pori adsorben. adsorben mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran sama dengan diameter pori adsorben ataupun lebih kecil. Proses adsorpsi oleh adsorben terjadi karena terjebaknya molekul adsorbat dalam pori adsorben.

4. Temperatur

Saat proses pengaplikasian adsorben disarankan untuk mengetahui temperaturnya. Karena tidak ada peraturan umum yang bisa diberikan mengenai temperatur yang digunakan dalam adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Untuk senyawa yang mudah menguap, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat -sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya.

5. pH (Derajat Keasaman)

pH asam organik yang dinaikkan dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang sebagai akibat terbentuknya garam. Sebaliknya, jika asam-asam organik adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut.

6. Waktu Kontak

Jika Karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, maka diperlukan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah karbon aktif yang digunakan. Selisih ditentukan oleh dosis karbon aktif. Waktu kontak yang lebih lama digunakan jika larutan memiliki viskositas tinggi.

2.5 Adsorben

Adsorben merupakan padatan yang mampu menyerap adsorbat ke bagian permukaannya, adsorbat dapat berupa ion logam, zat warna maupun bahan organik. Kesetimbangan 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 res<mark>idu</mark> 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). "Pengaplikasian	Tujuan 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
Cangkang Telur dan Karbon Aktif Sebagai Adsorben Logam Timbal".		

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

Penulis dan Judul	Tujuan	Kesimpulan
Kromium		
Heksavalen (Cr^{6+})		
Pada Limbah Cair		
Industri		
Elektroplating".		
Khairi, Muhammad	Penelitian ini bertujuan	Adsorben dapat menurunkan
Mahfudz; Prasetyo,	menguji efektivitas	konsentrasi Cd pada limbah
Frida Utami;	penyerapan logam	industri batik dengan efektivitas
Fitriyanto, Sigit.	kadmium oleh adsorben	90,25% dengan massa optimum 6
(2018).	cangkang telur ayam	gram.
"Pemanfaatan	terhadap air limbah	b.
Cangkang Telur	industri batik sehingga	
Gallus Sp. Sebagai	dapat menjadi solusi adsorben yang lebih	
Adsorben Kadmium	efektif, murah, dan ramah	
(Cd) pada Limbah	lingkungan.	
Cair Industri	migkungan.	
Batik".		
Satriani, Dewi;	Penelitian ini bertujuan	.Adsorpsi optimum terjadi pada
Ningsih, Purnama;	menentukan waktu	waktu 30 menit dengan berat
Ratman. (2016).	optimum, berat optimum	adsorben 1 gram dan persentase
"Serbuk Dari	dan <mark>k</mark> apasitas ad <mark>sor</mark> psi	logam timbal yang terserap yaitu
Limbah Cangkang	cang <mark>ka</mark> ng <mark>telur a</mark> yam ras	98,91%. Kapasitas adsorpsi
Telur Ayam Ras	pada <mark>ko</mark> ndi <mark>si optimum.</mark>	sebesar 0,078 mg Pb/mg.
sebagai Adsorben		
terhadap Logam		
Timbal (Pb)."		
Maharani, Vania;	Penelitian ini bertujuan	Berdasarkan uji statistik,
Kuntjoro, Sunu;	menguji pengaruh serbuk	perbedaan konsentrasi serbuk
Kartika, Novita	cangkang telur ayam	cangkang telur ayam berpengaruh
Indah. (2018).	sebagai adsorben logam	secara nyata terhadap penurunan
"Pemanfaatan	Cd dan menguji pengaruh	logam berat Cd pada limbah cair
Serbuk Cangkang	perbedaan konsentrasi	batik Jetis Sidoarjo.
Telur Ayam Sebagai	serbuk cangkang telur	
Adsorben Logam	ayam terhadap persentase	
Berat Kadmium	penurunan kadar Cd.	
(Cd) pada Limbah		
Cair Industri Batik		
Jetis Sidoarjo".		
Badrealam, S;	Penelitian ini bertujuan	Hasil menunjukkan cangkang
Roslan, F.S; Dollah,	untuk mengetahui	telur mampu menurunkan kadar
Z; Bakar, A. A. A;	efektifitas cangkang	Cu dan Zn lebih dari 90%
Handan, R. (2018).	telur untuk menurunkan	dengan waktu kontak 60 menit
"Exploring the	kadar Cu dan Zn.	dan 120 menit sedangkan
Exploring the Eggshell from	nadai Ca dali Zii.	konsentrasi awal yang optimum
Household Waste as		yaitu 1 ppm untuk menurunkan
110usenoia wasie as		yanu i ppin umuk menulunkan

Penulis dan Judul	Tujuan	Kesimpulan
Alternative	-	kadar Cu dan 2 ppm untuk
Adsorbent for		menurunkan kadar Zn.
Heavy Metal		
Removal from		
Waterwaste".		
Nurlaili, Titin;	Penelitian ini bertujuan	Massa adsorben, waktu kontak,
Kurniasari, Laeli;	untuk mempelajari	dan pH sangat berpengaruh
Ratnani, Rita Dwi.	efektivitas cangkang	terhadap adsorpsi zat warna
(2017).	telur ayam sebagai	<i>metil orange</i> menggunakan
"Pemanfaatan	adsorben dalam	adsorben serbuk cangkang telur
Limbah Cangkang	adsorpsi zat warna	ayam. Kondisi terbaik adsorpsi
Telur Ayam sebagai	methyl orange dengan	terjadi pada, massa adsorben 11
Adsorben Zat	parameter proses yang	gram, waktu kontak 60 menit
Warna Methyl	meliputi massa	dan pH 1 dengan persentase
Orange dalam	adsorben, waktu	adsorpsi sebesar 41,46 %.
Larutan".	kontak, dan pH.	

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

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.

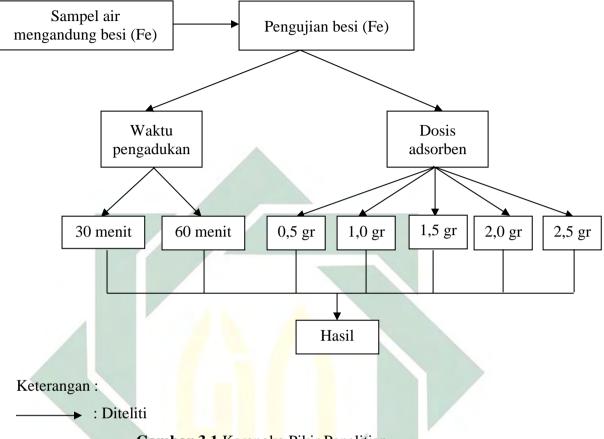
3.2 Waktu Penelitian

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

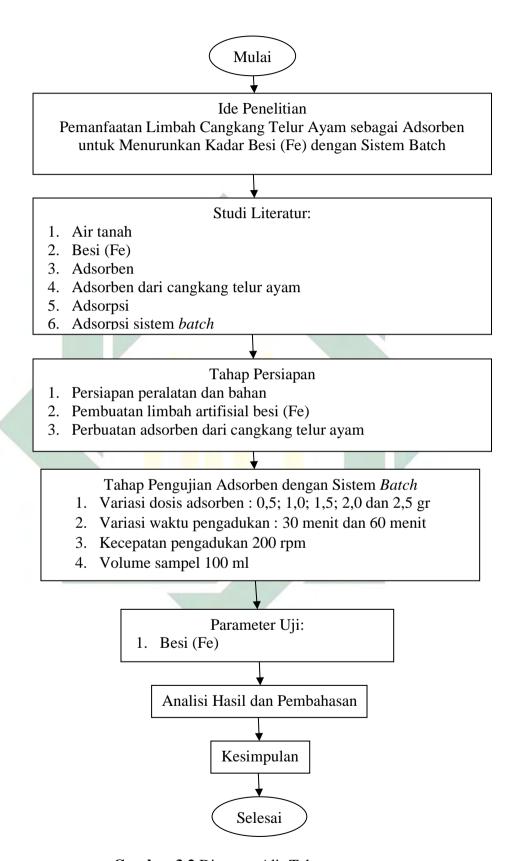
Kerangka pikir merupakan alur sistematis yang bertujuan untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi logam besi (Fe) dengan menggunakan adsorben dari cangkang telur ayam ras melalui sistem *batch* sehingga 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:



Gambar 3.1 Kerangka Pikir Penelitian

4.3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam tugas akhir ini meliputi beberapa tahap seperti ide penelitian, literatur, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian, penyusunan laporan seperti analisis dan pembahasan, kesimpulan dan saran. Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan

4.3.2 Rancangan Percobaan

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

^			В		
A	B_1	B_2	\mathbf{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

 $\begin{array}{lll} A_2\,B_2 & : \mbox{Perlakuan waktu kontak 60 menit, massa adsorben 1,0 gr} \\ A_2\,B_3 & : \mbox{Perlakuan waktu kontak 60 menit, massa adsorben 1,5 gr} \\ A_2\,B_4 & : \mbox{Perlakuan waktu kontak 60 menit, massa adsorben 2,0 gr} \\ A_2\,B_5 & : \mbox{Perlakuan waktu kontak 60 menit, massa adsorben 2,5 gr} \end{array}$

4.4 Alat dan Bahan Penelitian

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

Tabel 3.2 Peralatan dan Bahan yang Dibutuhkan

Peralatan				
No.	Nama Alat	Fungsi		
1.	Botol Plastik	Wadah sampel air		
2.	Baskom	Wadah untuk proses pencucian cangkang telur		
		ayam		
3.	Blender	Menghancurkan cangkang telur ayam menjadi		
	W 1.D	serbuk		
4.	Kotak Penyimpanan	Tempat penyimpanan cangkang telur		
5.	Oven	Menghilangkan kandungan air pada cangkang		
		telur		
6.	Neraca Analitik	Menimbang massa adsorben		
7.	Ayakan	Menentukan ukuran adsorben yang akan		
		digunakan		
8.	Desikator	Menstabilkan suhu		
9.	Cawan Petri	Wadah untuk cangkang telur saat proses		
		penghilangan kadar air		
10.	Spatula	Mengambil serbuk cangkang telur		
11.	ICP (Inductively	Mengukur kadar besi (Fe)		
	Coupled Plasma)			
12.	Gelas Beaker	Wadah untuk proses pengadukan		
13.	Magnetic Stirrer	Proses adsorpsi secara batch		
14.	Kertas Saring	Menyaring padatan		
	Whatman 42			
15.	Corong	Memudahkan proses penyaringan		
16.	Erlenmeyer	Wadah sementara hasil penyaringan		
	Bahan			
No.	Nama Bahan	Fungsi		
1.	Cangkang telur ayam	Bahan pembuatan adsorben		
2.	Serbuk FeSO ₄ .7H ₂ O	Membuat limbah artifisial besi (Fe)		
3.	Aquades	Melarutkan dan mengencerkan sampel limbah Fe		

Peralatan		
No.	Nama Alat	Fungsi
4.	Air Bersih	Mencuci dan membersihkan cangkang telur
		ayam

4.5 Langkah Kerja Penelitian

4.5.1 Pembuatan Adsorben dari Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur yang telah diperoleh lalu dicuci bersih dan dihilangkan membran dan kotoran-kotoran yang menempel. Kemudian cangkang telur yang telah bersih selanjutnya direndam air panas selama 15 menit lalu dibilas lagi dan dikeringkan dengan cara dijemur di bawah tarik matahari. Setelah itu cangkang telur telah kering dihaluskan dan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 120 mesh. Lalu bubuk cangkang telur selanjutnya dipanaskan di oven selama 1 jam dengan menggunakan suhu 110°C, selanjutnya didinginkan di desikator dan kemudian dimasukkan ke dalam kotak yang kedap udara.

Setelah proses dehidrasi, dilakukan pengujian kadar air pada cangkang telur ayam. Penentuan kadar air dilakukan dengan cara dikeringkan menggunakan oven. Cangkang telur sebanyak 5 gram adsorben diletakkan ke dalam cawan porselen yang telah ditimbang sebelumnya, kemudian dioven pada suhu 105°C selama 1 jam atau hingga berat konstan. Lalu adsorben didinginkan pada desikator selama 15 menit dan ditimbang. Selanjutnya dihitung berdasarkan rumus seperti berikut:

Kadar air (%) =
$$\frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a: berat sampel sebelum pengeringan (gr)

b : berat sampel setelah pengeringan (gr)

4.5.2 Pembuatan Limbah Artifisial Besi (Fe)

Limbah artifisial besi (Fe) merupakan limbah buatan dengan cara melarutkan serbuk besi (FeSO₄.7H₂O) ke dalam aquadest. Pembuatan air limbah besi (Fe) artifisial ini berdasarkan pada perhitungan molaritas untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan. Konsentrasi besi dalam penelitian ini menggunakan

sebesar 5 mg/l. Kemudian sampel diuji kadar besi (Fe) dengan menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*), ICP merupakan teknik analisis dengan cara pengatomisasian elemen sehingga memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur.

Adapun pembuatan larutan sampel Fe adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$Ar \cdot Fe = 56$$

$$Mr \cdot FeSO_4.7H_2O = 278$$

Volume 500 mL

Kemurnian = 99%

$$M = \frac{n}{12}$$

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

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

$$\frac{gr}{I} = 0.0178 M$$

Larutan induk Fe yang akan dibuat molaritasnya 0,0178 M

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

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

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

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

$$= 2,5 \ gram \ FeSO_4 \cdot 7H_2O$$

Jadi jumlah serbuk FeSO₄.7H₂O yang dibutuhkan sebesar 2,5 gram untuk dilarutkan ke dalam 500 mL aquades. Selanjutnya untuk membuat sampel air limbah dengan konsentrasi 5 mg/L, larutan induk besi (Fe) diencerkan lagi dengan menggunakan aquadest.

$$C_1.V_1 = C_2.V_2$$

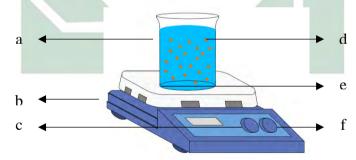
 $1000 \frac{mg}{l}.V_1 = 5 \frac{mg}{l}.2500 \ mL$

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

Sehingga untuk membuat 2500 liter limbah besi (Fe) 5 mg/l membutuhkan larutan induk besi (Fe) sebanyak 12,5 mL. Jumlah limbah besi (Fe) yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebanyak 100mL setiap reaktor, reaktor yang tersedia yaitu 20 reaktor untuk sampel dan 1 reaktor untuk kontrol.

4.5.3 Pengujian Penyerapan Adsorben terhadap Kadar Besi (Fe)

Sampel disiapkan sebanyak 100 ml untuk setiap sampel. Massa adsorben yang ditambahkan yaitu sebanyak 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr untuk setiap sampel. Setelah itu sampel diletakkan di atas *magnetic stirrer* dan waktu kontak diatur selama 30 menit dan 60 menit dengan pengaturan suhu 25°C untuk setiap sampel dan diaduk dengan kecepatan putar 200 rpm. Prinsip kerja dari alat ini yaitu pengadukan dan suhu pengadukan yang dihasilkan dari alat ini bersumber pada energi listrik, besarnya kecepatan pengadukan dan suhu pengadukan diatur berdasarkan kebutuhan yang diinginkan. Desain reaktor yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Desain Reaktor Sistem Batch

Keterangan:

a. Gelas Beaker

b. Magnetic Stirrer

c. Tombol Suhu

d. Adsorben

e. *Shaker*

f. Tombol Putaran

Setelah itu sampel ini didiamkan selama 1 jam lalu disaring dengan menggunakan kertas saring. Kadar besi (Fe) diukur dengan menggunakan alat ICP (*Inductively Coupled Plasma*), ICP merupakan teknik analisis dengan cara pengatomisasian elemen sehingga memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur.

4.6 Metode Analisis Data

4.6.1 Analisis Deskriptif Kuantitatif

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

$$\% adsorpsi = \frac{(C0-Ca)}{C0} x 100\%$$

Keterangan:

% adsorpsi : persentase adsorpsi

C₀ : konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_a : konsentrasi akhir larutan (mg/L)

Hasil dari persentase penurunan tersebut akan dilakukan analisis data dengan metode analisis deskriptif kuantitatif. Metode ini bertujuan untuk menjelaskan data yang diteliti berdasarkan studi pustaka sehingga lebih dapat memperkuat hasil analisa untuk membuat suatu kesimpulan dalam penelitian. Hasil penelitian diperoleh dari perhitungan indikator variabel penelitian dan data disajikan dalam bentuk tabel ataupun grafik.

4.6.2 Metode Statistik

Dalam penelitian ini data dianalisis untuk mengetahui perbedaan waktu kontak dan massa adsorben. Oleh karena itu metode analisis data statistik parametrik dalam penelitian ini yaitu uji Anova dua arah atau *Two Way* anova yang diolah ke dalam program SPSS. Berikut syarat uji Anova dua arah:

1. Uji Normalitas Saphiro-Wilk

Uji normalitas bertujuan sebagai uji pendahuluan untuk mengetahui apakah data yang digunakan terdistribusi normal atau tidak. Uji Saphiro Wilk digunakan untuk sampel yang jumlahnya kurang dari 50 data. Adapun pedoman pengambilan keputusan uji normalitas Saphiro Wilk adalah sebagai berikut:

- a. Jika nilai Sig. (signifikansi) > 0,05 maka distribusi data adalah normal.
- b. Jika nilai Sig. (signifikansi) < 0,05 maka distribusi data adalah tidak normal.

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah variasi dari beberapa data sama atau tidak. Adapun pedoman dalam uji homogenitas adalah sebagai berikut:

- a. Jika nilai Sig. (signifikansi) > 0,05 maka dikatakan bahwa variasi dari dua atau lebih kelompok populasi adalah sama (homogen).
- b. Jika nilai Sig. (signifikansi) < 0,05 maka dikatakan bahwa variasi dari dua atau lebih kelompok populasi adalah tidak sama (tidak homogen).

3. Uji ANOVA Dua Arah

Uji Anova dua arah memiliki persyaratan sebagai berikut:

- a. Nilai standardized residual adalah terdistribusi normal
- b. Populasi-populasi dari variasi data adalah sama (homogen)

4. Uji Kruskal Wallis

Uji Kruskal Wallis adalah salah satu uji non parametrik dalam prosedur untuk sampel independen. Uji ini digunakan ketika perbandingan dua variabel yang diukur normal dan/atau tidak sama (bebas). Kruskal Wallis merupakan alternatif dari uji Anova jika tidak memenuhi syarat. Berikut pedoman dalam uji Kruskal Wallis:

a. Jika nilai Asym. Sig. (signifikansi) > 0,05 maka tidak ada perbedaan secara signifikan atau H0 diterima.

b. Jika nilai Sig. (signifikansi) < 0.05 maka ada perbedaan secara signifikan atau H1 diterima.

4.7 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

 H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan penyerapan logam berat besi (Fe) pada setiap sampel.

Ha : Adanya perbedaan signifikan penyerapan logam berat besi (Fe) pada setiap sampel.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembuatan Adsorben Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur ayam dikumpulkan dari limbah rumah tangga. Cangkang telur ayam yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan adsorben dalam penelitian ini merupakan bagian luar yang berwarna coklat. Karakteristik fisik dari cangkang telur ayam ini berwarna coklat dan terdapat membran putih di dalamnya. Cangkang telur ayam dibersihkan terlebih dahulu dari membrandan kotoran yang menempel dengan cara dicuci dengan menggunakan air. Cangkang telur selanjutnya direndam pada air mendidih selama 15 menit untuk membersihkan membran agar lebih optimal dan menghilangkan bau amis, cangkang telur ayam kemudian dibilas menggunakan air bersih. Pada Gambar 4.1 merupakan proses pembersihan cangkang telur ayam dan Gambar 4.2 merupakan proses perendaman cangkang telur ayam.



Gambar 4.1 Proses Pembersihan Cangkang Telur Ayam



Gambar 4.2 Proses Perendaman Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur ayam kemudian dijemur dibawah sinar matahari selama 2 hari untuk menghilangkan kadar air pada cangkang telur ayam. Cangkang telur ayam yang telah kering dan menyusut secara berat dan volume. Karena sinar matahari menyebabkan melepasnya kandungan air pada cangkang telur ayam sehingga terjadi penyusutan dan penurunan berat kering. Rendahnya kadar air akan mempengaruhi daya waktu penyimpanan bahan karena enzimatis dapat terhenti sehingga mencegah timbulnya mikroorganisme (Hartini, 2014). Berikut Gambar 4.3 penjemuran cangkang telur ayam.



Gambar 4.3 Proses Penjemuran Cangkang Telur Ayam

Cangkang ayam yang sudah kering kemudian dihaluskan dengan cara diblender hingga menjadi serbuk halus dan hasil dari proses penghalusan kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 120 mesh, karakteristik cangkang telur yang dihasilkan yaitu berbentuk serbuk, berwarna putih agak kecokelatan dan

sedikit berbau. Tujuan dari penghalusan dan pengayakan ini adalah untuk memperkecil ukuran adsorben dan memperbesar luas permukaannya sehingga adsorbat yang terjerap semakin banyak. Berikut ini disajikan Gambar 4.4 proses pengayakan serbuk cangkang telur ayam dan Gambar 4.5 serbuk cangkang telur ayam hasil pengayakan.



Gambar 4.4 Proses Pengayakan Serbuk Cangkang Telur Ayam



Gambar 4.5 Serbuk Cangkang Telur Ayam Hasil Pengayakan

Serbuk cangkang telur ayam tersebut ditimbang sebanyak 46,68 gr dengan neraca analitik. Berat cawan sebesar 29,80 gram. Serbuk cangkang telur ayam tersebut di oven pada suhu 110°C selama 1 jam untuk menghilangkan sisa kadar airnya. Setelah itu serbuk cangkang telur dikeluarkan dan didinginkan selama 15

menit. Berat serbuk cangkang telur ayam dalam wadah setelah di oven yaitu sebesar 76,00 gram.

4.2 Karakterisasi Adsorben

Adsorben yang telah dibuat, diuji kadar airnya. Kadar air mempengaruhi kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi logam berat. Kadar air diuji yaitu sampel adsorben disiapkan sebanyak 5 gram kemudian di oven selama 1 jam pada suhu 105°C hingga berat konstan. Hasil dari pengujian kadar air adsorben dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kadar Air Adsorben

Pengukuran	Berat Cawan Kosong (gr)	Berat Sampel + Cawan Awal (gr)	Berat Setelah Dioven (gr)	Kadar Air (%)
1	29,80	34,80	34,80	0,00

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).

4.3 Pembuatan Limbah Artifisial

Limbah yang digunakan adalah limbah artifisial. Limbah dibuat dengan melarutkan serbuk senyawa besi (II) sulfat heptadihrat (FeSO₄.7H₂O) dengan aquades. Limbah besi artifisial dibuatt 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 FeSO₄.7H₂O.

Diketahui:

Ar . Fe = 56

 $Mr \cdot FeSO4.7H2O = 278$

Volume 500 mL

Kemurnian = 99%

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

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

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

$$\frac{gr}{L} = 0.0178 M$$

Larutan induk Fe yang akan dibuat molaritasnya 0,0178 M

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

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

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

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

$$= 2,5 \ gram \ FeSO_4 \cdot 7H_2O$$

Jadi jumlah serbuk FeSO₄.7H₂O 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.

$$C_1.V_1 = C_2.V_2$$

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

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

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:

$$FeSO_4(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

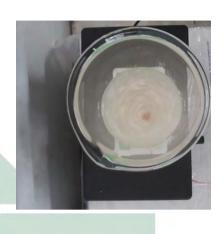
Pada proses ini FeSO₄ ditambahkan dengan 7H₂O maka akan membentuk FeSO₄.7H₂O. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$FeSO_4 + 7H_2O \rightarrow FeSO_4.7H_2O$$

4.4 Pengujian Penyerap<mark>an</mark> 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.





Gambar 4.6 Proses Pengadukan 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.

4.5 Hasil Pengukuran Pengujian Massa Adsorben dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe)

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.

Tabel 4.2 Data Rata-Rata Hasil Pengukuran Kadar Besi (Fe)

No.	Massa	Kadar Awal	Kadar Akhir Fe (mg/L)		
	(gr)	Fe (mg/L)	30 Menit	60 Menit	
1.	0,5	1,231	1,284	0,388	
2.	1,0	1,231	0,169	0,089	
3.	1,5	1,231	0,056	0,004	
4.	2,0	1,231	0,026	0,007	
5.	2,5	1,231	0,012	0,008	

Sumber: Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2020

4.6 Efisiensi Penyerapan Kadar Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak dan Massa Adsorben

Proses adsorpsi pada penelitian ini dilakukan secara *batch* menggunakan dua variasi yaitu waktu kontak (30 menit dan 60 menit) dan massa adsorben (0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram) sehingga dapat mengetahui kemampuan cangkang telur ayam untuk menurunkan kadar Besi (Fe) limbah artifisial. Efisiensi rata-rata penyerapan kadar besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Efisiensi Rata-Rata Penyerapan Kadar Besi (Fe)

No.	Massa	Kadar Awal	Kadar Akhir (mg/L) Efisier			nsi Penyerapan Fe (%)	
	(gr)	(mg/L)	30 Menit	60 Menit	30 Menit	60 Menit	
1.	0,5	1,231	1,284	0,388	-4,31	68,48	
2.	1,0	1,231	0,169	0,089	86,28	92,81	
3.	1,5	1,231	0,056	0,004	95,45	99,65	
4.	2,0	1,231	0,026	0,007	97,87	99,42	
5.	2,5	1,231	0,012	0,008	99,07	99,35	
	Rata-rat	a	0,309	0,099	74,87	91,94	

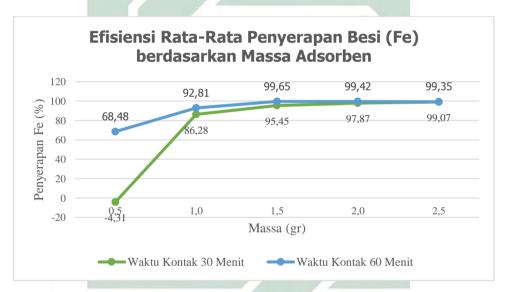
Berdasarkan hasil uji pada Tabel 4.3 di atas diketahui rata-rata penyerapan kadar besi (Fe) memiliki rentang antara -4,31% sampai 99,65%. Efisiensi penyerapan kadar besi (Fe) mengalami peningkatan pada setiap variasi waktu kontak dan massa adsorben. Pada waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 0,5 gr memiliki rata-rata persentase penurunan kadar besi (Fe) sebesar -4,31%.

Efisiensi penyerapan logam besi bernilai negatif sehingga dapat dikatakan tidak terjadi penurunan daya serap logam besi, hal ini disebabkan oleh proses desorpsi Fe²⁺ 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 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%.

4.6.1 Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Massa Adsorben

Data hasil penelitian berupa kadar besi (Fe) yang diperoleh berupa kadar sampel limbah artifisial sebelum dan sesudah melewati proses adsorpsi *batch*. Penelitian ini menggunakan variasi massa adsorben melewati proses adsorpsi *batch* yang dilakukan yaitu sebesar 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr. Pengaruh massa adsorben diuji dengan variasi waktu kontak yaitu sebesar 30 menit dan 60 menit dengan kadar awal sampel limbah artifisial besi (Fe) yang sama yaitu sebesar 1,231 mg/L. Berikut ini Gambar 4.7 grafik efisiensi rata-rata penyerapan besi (Fe) berdasarkan massa adsorben.



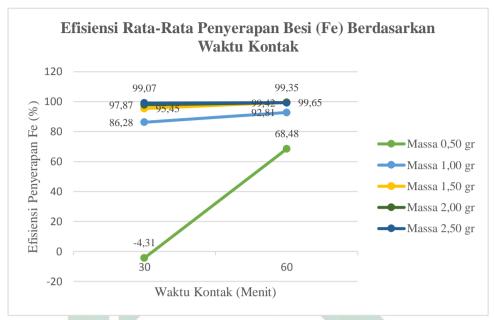
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Rata-Rata Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Massa Adsorben

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram berturutturut menghasilkan persentase penyerapan besi (Fe) sebesar -4,31%, 86,28%, 95,45%, 97,87% dan 99,07%. Persentase penyerapan besi (Fe) tertinggi sebesar 99,07% yaitu pada waktu kontak 30 menit dengan massa adsorben 2,5 gr. Pada waktu kontak 30 menit, efisiensi penyerapan terus peningkatan mulai dari massa 0,5 gr-2,5 gr.

Sedangkan pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram, 2,0 gram dan 2,5 gram berturut-turut menghasilkan persentase penyerapan besi (Fe) sebesar 68,48%, 92,81%, 99,65%, 99,42% dan 99,35%. Persentase penyerapan besi (Fe) tertinggi sebesar 99,65% yaitu pada waktu kontak 60 menit dengan massa adsorben 1,5 gram. Diketahui pada massa adsorben 0,5 gr diperoleh penyerapan 68,48% dan sangat meningkat pada massa adsorben 1,5 gr, yaitu sebesar 99,65%. Tetapi pada massa adsorben 2,0 gr dan 2,5 gr, terjadi penurunan persentase penyerapan yang tidak signifikan yaitu 99,42% dan 99,35%. Hal ini terjadi karena pada massa adsorben 1,5 gr, ketersediaan permukaan aktif pada 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 cukup jenuh sehingga tidak memungkinkan untuk menyerap adsorbat lebih banyak lagi. Selain itu jika massa adsorben ditingkatkan lagi maka tidak akan terjadi penambahan penyerapan yang signifikan (Satriani dkk., 2017).

4.6.2 Efisiensi Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak

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



Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Rata-Rata Penyerapan Besi (Fe) Berdasarkan Waktu Kontak

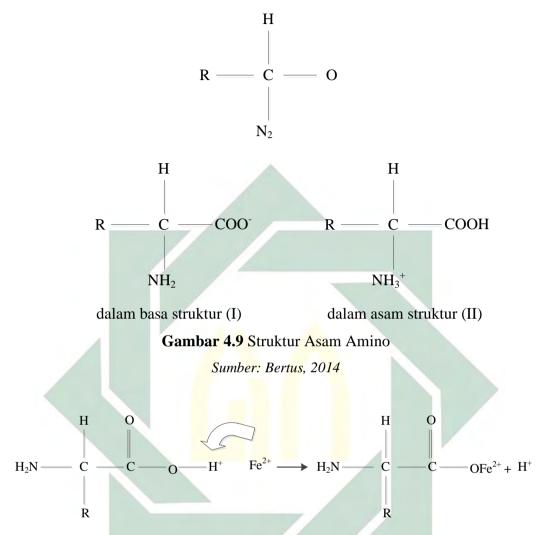
Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada massa adsorben 0,5 gr dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit diperoleh persentase sebesar -4,31% dan 68,48%, rata-rata persentase yaitu 32,09%. Massa adsorben 1,0 gr dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit diperoleh persentase sebesar 86,28% dan 92,81%, rata-rata persentase yaitu 89,55%. Massa adsorben 1,5 gr dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit diperoleh persentase sebesar 95,45% dan 99,65%, rata-rata persentase yaitu 97,55%. Massa adsorben 2,0 gr dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit diperoleh persentase sebesar 97,87% dan 99,42%, rata-rata persentase yaitu 98,45%. Pada massa adsorben 2,5 gr dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit diperoleh persentase sebesar 99,07% dan 99,35%, rata-rata persentase yaitu 99,21%.

Berdasarkan massa adsorben 0,5 gr, 1,0 gr, 1,5 gr, 2,0 gr dan 2,5 gr dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit, maka diperoleh rata-rata persentase penyerapan berturut-turut yaitu 32,09%, 89,55%, 97,55%, 98,45% dan 99,21%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin tinggi pula adsorbat yang terserap.

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 (CaCO₃) 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 -NH₃⁺ saat berada pada kondisi larutan basa. Apabila berada pada kondisi larutan asam, maka konsentrasi ion H⁺ yang tinggi mampu berikatan dengan ion -COO, sehingga akan terbentuk gugus -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.



Gambar 4.10 Mekanisme Dugaan Pertukaran Ion pada Adsorben dengan Ion Logam Fe(II)

Mekanisme pertukaran ion ini terjadi pada saat gugus-gugus karboksilat (COOH) pada asam-asam amino mengalami deprotonisasi akibat adanya ion hidroksida (OH⁻), sehingga gugus karboksilat berubah menjadi bermuatan negatif (COO⁻) yang bersifat reaktif untuk berikatan dengan Fe²⁺.

4.8 Pengujian Hipotesis

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	Shapiro-Wilk		
	Kontak	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 H0 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	Shapiro-Wilk			
	Adsorben	Statistic	df	Sig.	
Hasil	0,5 gr	,809	4	,120	
Penurunan	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	2,104	4	3,043	,282
	adjusted df				
	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)

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 4.8

Tabel 4.8 Uji Kruskal Wallis Berdasarkan Massa Adsorben

	Hasil Penurunai	
Kruskal-Wallis H		13,684
Df		4
Asymp. Sig.		,008

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa nilai Asymp. Sig 0,008 < 0,05 yang menyatakan bahwa H0 ditolak dan Ha diterima atau terdapat perbedaan yang signifikan pada penyerapan logam berat besi (Fe) pada massa adsorben. Variasi massa adsorben mampu menurunkan konsentrasi besi. Selanjutnya diuji berdasarkan variasi waktu dan massa sebagai berikut.

Tabel 4.9 Uji Kruskal Wallis Berdasarkan Massa Adsorben dan Waktu Kontak

	Hasil Penurunan
Kruskal-Wallis H	16,994
Df	9
Asymp. Sig.	,049

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa nilai Asymp. Sig 0,049 < 0,05 yang menyatakan bahwa H0 ditolak dan Ha diterima atau terdapat perbedaan yang signifikan pada penyerapan logam berat besi (Fe) pada variasi massa adsorben dengan waktu kontak. Variasi massa adsorben dengan waktu massa adsorben mampu menurunkan konsentrasi besi.

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 dapatr 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 Mengadsorbsi 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 Ftir 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 (Fe2+) 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 CairIndustri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember). Universitas Jember.

- Rosita, E., Melani, W. R., & Zulfikar, A. (2013). Detergen Ditinjau Dari Detensi Waktu Dan Konsentrasi Orthopospat. 7.
- Saleha, M. (2018). Penurunan Kadar Ion Fe (II) dalam Air Menggunakan Serbuk Cangkang Telur Puyuh. 8.
- Sari, R. R. (2015). Penentuan Kadar Besi (Fe) dalam Sampel Air Dari Sumur Kampus Diploma Teknik Universitas Diponegoro dengan Spektrofotometer Genesys 20. Universitas Diponegoro.
- Satriani, D., Ningsih, P., & Ratman, R. (2017). Serbuk Dari Limbah Cangkang Telur Ayam Ras Sebagai Adsorben Terhadap Logam Timbal (Pb). Jurnal Akademika Kimia, 5(3), 103. https://doi.org/10.22487/j24775185.2016.v5.i3.8032
- Susanto, T. N., Atmono, & Natalina. (2017). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Media Adsorben Dalam Penurunan Kadar Logam Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) pada Limbah Cair Industri Elektroplating. Jurnal Ecolab, 11(1), 27–31. https://doi.org/10.20886/JKLH.2017.11.1.27-31
- Syam, W. M. (2016). *Optimalisasi Kalsium Karbonat dari Cangkang Telur untuk Produksi Pasta Komposit.* Al-Kimia, 4(2), 86–97.

 https://doi.org/10.24252/al-kimia.v4i2.16