



**PENURUNAN KADAR TEMBAGA (Cu) PADA LIMBAH CAIR
INDUSTRI ELEKTROPLATING MENGGUNAKAN CANGKANG TELUR
AYAM POTONG TERAKTIVASI TERMAL
(Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)**

SKRIPSI

Oleh

**Ninis Dian Ratnasari
NIM 132110101010**

**BAGIAN KESEHATAN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS JEMBER
TAHUN 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)

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan S-1 Kesehatan Masyarakat dan mencapai gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat

SKRIPSI

**BAGIAN KESEHATAN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS JEMBER
TAHUN 2017**

PERSEMBAHAN

Dengan Menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Surasit dan Ibunda Indarwati yang telah memberikan kasih sayang, limpahan doa, dukungan serta pengorbanan yang tiada tara
2. Adik tercinta saya, Emilia Yunita dan Salsa Rosita Putri yang telah memberikan doa, dukungan serta motivasi
3. Seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan doa, perhatian dan motivasi yang tiada tara
4. Semua guru mulai dari TK Melati Indah, SDN Simorejo, SMPN 1 Kepohbaru dan SMA Darul Ulum BPP-Teknologi Jombang yang sangat berjasa karena telah mendidik dan mengajatkan banyak hal, terimakasih yang tak terduga atas semua yang telah diajarkan dan diberikan Almamater Fakultas Kesehatan Masyarakat Uniersitas Jember yang telah memberikan banyak pelajaran.

MOTTO

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”

(Terjemahan Surat Ar-Rum Ayat 41)*)



*) (Surat Ar-Rum ayat 41) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ninis Dian Ratnasari

NIM : 132110101010

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : *Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 4 Oktober 2017

Yang menyatakan,

(Ninis Dian Ratnasari)

NIM 132110101010

SKRIPSI

**PENURUNAN KADAR TEMBAGA (Cu) PADA LIMBAH CAIR
INDUSTRI ELEKTROPLATING MENGGUNAKAN CANGKANG TELUR
AYAM POTONG TERAKTIVASI TERMAL
(Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)**

Oleh

Ninis Dian Ratnasari

NIM. 132110101010

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Anita Dewi Moelyaningrum, S.KM., M.Kes.

Dosen Pembimbing Anggota : Ellyke S.KM., M.KL.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember pada:

Hari : Rabu
tanggal : 4 Oktober 2017
tempat : Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. DPU: Anita Dewi Moelyaningrum, S.KM.,M.Kes (.....)
NIP. 198111202005012001
2. DPA : Ellyke, S.KM.,M.KL (.....)
NIP. 198104292006042002

Penguji

1. Ketua : Irma Prasetyowati, S.KM.,M.Kes (.....)
NIP. 198005162003122002
2. Sekretaris : Eri Witcahyo, S.KM.,M.Kes (.....)
NIP.198207232010121003
3. Anggota : I Nengah Dwipayana Ari Wibisono, S.P (.....)
NIP. 197305141997031006

Mengesahkan
Dekan,

Irma Prasetyowati, S.KM.,M.Kes
NIP. 198005162003122002

RINGKASAN

Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Electroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Electroplating X di Kabupaten Jember); Ninis Dian Ratnasari; 1321101011010. 84 halaman; Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember

Kehidupan masyarakat modern tidak bisa terlepas dari benda-benda yang dibuat dengan proses electroplating seperti alat rumah tangga, otomotif dan lain-lain. Industri electroplating dalam proses kegiatannya menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat salah satunya yaitu logam Cu. Kadar logam tembaga dalam perairan yang melebihi ambang batas apabila dikonsumsi berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti kerusakan pembuluh darah, gangguan paru-paru, kanker, hingga kematian. Oleh karena itu diperlukan suatu penanganan untuk mengatasi pencemaran logam tembaga dengan melakukan pengelolaan limbah dengan metode adsorpsi. Perkembangan konsumsi telur ayam ras selama tahun 1987-2015 di Indonesia rata-rata mengalami peningkatan sebesar 3,57% per tahunnya. Konsumsi telur yang meningkat setiap tahunnya membuat berbagai jenis cangkang telur dianggap sebagai limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Maka dari itu cangkang telur dipergunakan sebagai adsorben dalam menyerap logam berat tembaga yang terkandung dalam limbah electroplating karena banyak mengandung CaCO_3 sebesar 98,41% dan memiliki pori-pori yang adsorptif. 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 selama 90 menit.

Metode penelitian ini adalah *True Eksperiment*. Tahap pertama adalah membuat serbuk cangkang telur ayam potong menjadi ukuran yang sama besar yaitu 60 mesh kemudian diaktivasi secara termal dengan suhu $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2

jam menggunakan alat *furnace*. Terdapat empat kelompok, dimana masing-masing kelompok terdiri dari 6 replikasi. Kelompok pertama yaitu kelompok kontrol, kelompok kedua yaitu penambahan serbuk cangkang telur ayam potong 20 g/l (P_1), kelompok ketiga yaitu penambahan serbuk cangkang telur ayam potong 25 g/l (P_2), dan kelompok keempat yaitu penambahan serbuk cangkang telur ayam potong 30 g/l (P_3). Lama waktu pengontakan serbuk cangkang telur ayam potong pada limbah cair industri elektroplating adalah selama 90 menit.

Hasil penelitian dilakukan uji normalitas kemudian dilakukan uji anova. Hasil uji *one way anova* dengan $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa tingkat signifikansi sebesar 0,000, artinya seluruh kelompok perlakuan memiliki rata-rata populasi yang berbeda, baik pada kelompok kontrol, kelompok P_1 , P_2 , dan P_3 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok penambahan serbuk cangkang telur ayam potong sebanyak 30 g/l memiliki penurunan kadar Cu tertinggi daripada kelompok lainnya yaitu dengan persentase sebesar 69,23%. Saran bagi pihak industri elektroplating adalah bisa menggunakan serbuk cangkang telur ayam potong teraktivasi termal untuk menurunkan kadar Cu limbah cair sebelum dibuang ke lingkungan. Saran bagi peneliti selanjutnya dapat menambahkan variasi waktu kontak, dan konsentrasi adsorbat, tegangan permukaan, dan waktu pengadukan sehingga diperoleh kondisi adsorpsi yang optimum cair dan perlu diuji coba regenerasi adsorben cangkang telur ayam potong agar bisa dilakukan reuse adsorben.

SUMMARY

Decrease of Copper Level (Cu) in Liquid Wastes Electroplating Industry Using Thermal Activated Chicken Eggshell (Study in Electroplating Industry X in Jember District); Ninis Dian Ratnasari; 1321101011010. 84 pages; Department of Environmental Health and Occupational Safety Health Faculty of Public Health University of Jember

The life of modern society can not be separated from objects made by electroplating processes such as household appliances, automotive and others. Electroplating industry in the process of producing liquid waste containing heavy metal one of them is Cu metal. Copper metal content in waters exceeding the threshold if consumed has the potential to cause health problems such as damage to blood vessels, lung disorders, cancer, until death. Therefore, a handling is needed to overcome copper metal pollution by performing waste management by adsorption method. The development of chicken egg consumption during the year 1987-2015 in Indonesia on average has increased by 3.57% per year. Consumption of eggs is increasing every year to make various types of eggshells considered as waste that has not been utilized to the fullest. Therefore eggshell is used as an adsorbent in absorbing copper heavy metals contained in electroplating waste because it contains a lot of CaCO_3 of 98.41% and has adsorptive pores. The aim of this research is to analyze the difference of the decrease of Cu content of liquid waste which is not given powdered chicken egg shell with liquid waste which given the concentration of egg shell powder.

This research method is True Experiment. The first stage is to make the powder egg shell powder into the same size that is 60 mesh then thermally activated with a temperature of $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 2 hours using furnace tool. There are four groups, where each group consists of 6 replications. The first group is control group, the second group is the addition of egg powder egg shell 20 g/l (P_1), the third group is the addition of chicken egg shell powder 25 g / l (P_2), and the fourth group is the addition of egg powder egg shell 30 g / l (P_3). The duration

of time of contact of chicken egg shell powder on the electroplating industry liquid waste is for 90 minutes.

The result of the research was done by normality test and then anova test. The result of one way anova test with $\alpha = 0.05$ indicates that the significance level is 0.000, meaning that all treatment groups have different population averages, both in the control group, P1, P2, and P3 groups. The results showed that the addition of chicken egg shell powder as much as 30 g / l had the highest decrease of Cu content than the other group with the percentage of 69.23%. Advice for the electroplating industry is to use thermal activated chicken egg shell powder to reduce the amount of Cu of liquid waste before it is discharged into the environment. The suggestion for the researcher can further add variation of contact time, and concentration of adsorbate, surface tension, and stirring time so that the optimum liquid adsorption condition is obtained and it is necessary to test the regeneration of egg shell egg adsorbent in order to reuse the adsorbent.

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikannya skripsi dengan judul *Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal (Studi di Industri Elektroplating X di Kabupaten Jember)* sebagai salah satu persyaratan akademis dalam rangka menyelesaikan Program Pendidikan S-1 Kesehatan Masyarakat di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

Dalam skripsi ini dijabarkan bagaimana penurunan kadar tembaga (Cu) pada limbah cair industri elektroplating menggunakan cangkang telur ayam potong teraktivasi termal, sehingga nantinya dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penyelenggaraan pengelolaan limbah industri elektroplating yang berdampak baik bagi kesehatan lingkungan dan kesehatan masyarakat di Kabupaten Jember.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada **Ibu Anita Dewi Moelyaningrum, S.KM.,M.Kes**, dan **Ibu Ellyke, S.KM.,M.KL** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, koreksi serta saran hingga terwujudnya skripsi ini. Terima kasih dan penghargaan kami sampaikan pula kepada yang terhormat :

1. Ibu Irma Prasetyowati, S.KM.,M.Kes selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember
2. Bapak Dr. Isa Ma'rufi selaku Ketua Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember
3. Ibu Irma Prasetyowati, S.KM.,M.Kes dan Bapak Eri Witcahyo, S.KM.,M.Kes yang telah bersedia menjadi ketua dan sekretaris penguji untuk skripsi saya
4. Seluruh Bapak Ibu dosen Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pelajaran

5. Pihak Industri Elektroplating X Jember yang telah membantu memberikan sampel limbah cair industri elektroplating
6. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Surasit dan Ibunda Indarwati yang telah memberikan kasih sayang, limpahan doa, dukungan serta pengorbanan yang tiada tara
7. Adik tercinta saya, Emilia Yunita dan Salsa Rosita Putri yang telah memberikan doa, dukungan serta motivasi
8. Semua guru mulai dari TK Melati Indah, SDN Simorejo, SMPN 1 Kepohbaru dan SMA Darul Ulum BPP-Teknologi Jombang yang sangat berjasa karena telah mendidik dan mengajarkan banyak hal
9. Teman-teman Peminatan Kesehatan Lingkungan 2013 seperjuangan.
10. Teman-teman PBL kelompok 4 Kana, Ian, Melati, Nika, Yuli, Megger, Hasri, Prisanti, Vini, Denah, Dewi, Nika, dan Dyah.
11. Sahabat-sahabat saya (istri sholehah squad) yang telah bersama dan banyak membantu selama 4,5 tahun Nabila, Puji, Yuliasfa, Mega, dan Ayu Pramudita.
12. Seluruh pihak dan teman-teman Fakultas Kesehatan Masyarakat angkatan 2013 yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Skripsi ini telah kami susun dengan optimal, namun tidak menutup kemungkinan adanya kekurangan, oleh karena itu kami dengan tangan terbuka menerima masukan yang membangun. Semoga tulisan ini berguna bagi semua pihak yang memanfaatkannya.

Jember, 4 Oktober 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR SINGKATAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.3.1 Tujuan Umum	5
1.3.2 Tujuan Khusus	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Elektroplating	7
2.2 Pencemaran Air	13
2.3 Logam Berat.....	14
2.4 Logam Berat Tembaga (Cu)	15
2.5 Cangkang Telur Ayam Potong.....	18
2.6 Serbuk Cangkang Telur Ayam Potong	19

2.6.1 Definisi.....	19
2.6.2 Kelebihan Bentuk Serbuk	20
2.7 Aktivasi Fisika (Termal)	20
2.8 Adsorpsi	21
2.10 Penelitian Terdahulu	25
2.11 Kerangka Teori.....	28
2.12 Kerangka Konsep.....	29
2.13 Hipotesis.....	30
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Jenis Penelitian.....	31
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2.1 Tempat Penelitian.....	33
3.2.2 Waktu Penelitian	33
3.3 Objek dan Teknik Pengambilan Objek Penelitian	33
3.3.1 Objek Penelitian	33
3.3.2 Teknik Pengambilan Objek Penelitian	34
3.4 Variabel dan Definisi Operasional	34
3.5 Bahan Penelitian dan Instrumen Penelitian.....	35
3.5.1 Alat Penelitian.....	35
3.5.2 Bahan Penelitian.....	36
3.6 Prosedur Kerja.....	36
3.6.1 Proses Pembuatan Serbuk Cangkang Telur	36
3.6.2 Prosedur Perlakuan Serbuk Cangkang Telur terhadap Limbah Cair Cu	36
3.8 Kerangka Operasional.....	38
3.9 Data dan Sumber Data	39
3.9.1 Data Primer	39
3.9.2 Data sekunder.....	39
3.10 Teknik dan Intrumen Pengumpulan Data	39
3.11 Teknik Penyajian dan Analisis Data	39
3.12 Alur Penelitian	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil	43

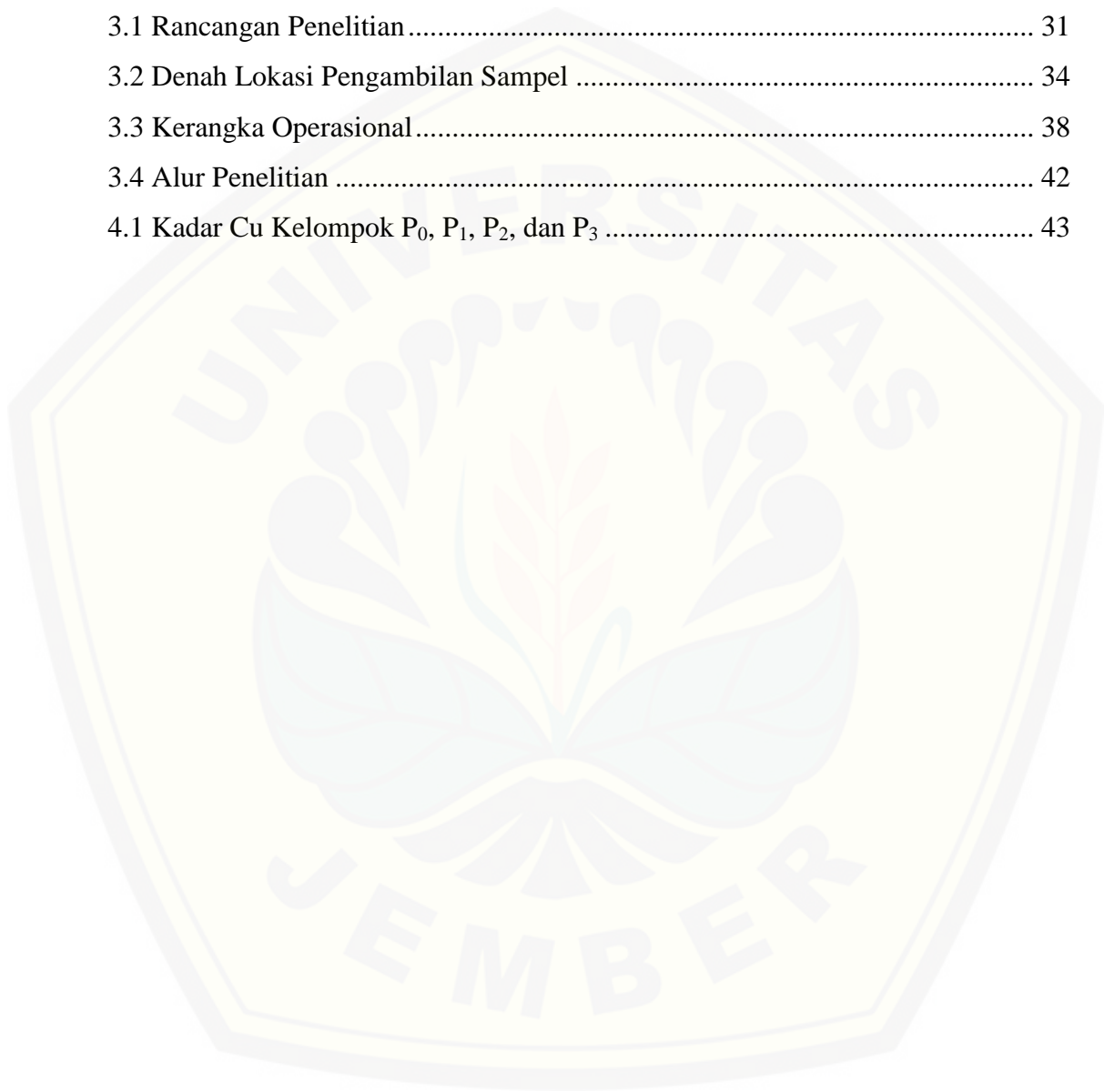
4.1.1 Kadar Cu pada Kelompok Kontrol (P ₀) dengan Kelompok yang Diberi Penambahan Serbuk Cangkang Telur Ayam Potong (P ₁ , P ₂ , dan P ₃)	43
4.1.2 Perbedaan Penurunan Kadar Cu pada Kelompok Kontrol (P ₀) dengan Kelompok yang Diberi Penambahan Serbuk Cangkang Telur Ayam Potong (P ₁ , P ₂ , dan P ₃).....	45
4.2 Pembahasan.....	47
4.2.1 Kadar Cu pada Kelompok Kontrol (P ₀) dan Kelompok Penambahan Konsentrasi Serbuk Cangkang Telur Ayam Potong (P ₁ , P ₂ , dan P ₃).....	47
4.2.2 Perbedaan Penurunan Kadar Cu pada Kelompok Kontrol (P ₀) dengan Kelompok yang Diberi Penambahan Serbuk Cangkang Telur Ayam Potong (P ₁ , P ₂ , dan P ₃).....	48
BAB 5. PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Klasifikasi Umum dari Bahan Pencemar Air.....	13
2.2 Daftar Nama Peneliti, Judul Penelitian, Proses Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur.....	25
3.1 Tata Letak RAL Penelitian.....	33
3.2 Variabel, Definisi Operasional, Skala Data, Cara Pengukuran, dan Satuan ...	35
4.1 Rerata Penurunan Kadar Cu pada Kelompok Perlakuan	44
4.2 Hasil Uji Normalitas	45
4.3 Hasil Uji <i>Post Hoc</i>	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kerangka Teori.....	28
2.2 Kerangka Konsep	29
3.1 Rancangan Penelitian	31
3.2 Denah Lokasi Pengambilan Sampel	34
3.3 Kerangka Operasional.....	38
3.4 Alur Penelitian	42
4.1 Kadar Cu Kelompok P ₀ , P ₁ , P ₂ , dan P ₃	43



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Hasil uji Laboratorium	69
B. Hasil uji statistik Anova	70
C. Dokumentasi kegiatan	73



DAFTAR SINGKATAN

Cu	: Tembaga
Cd	: Kadmium
CaO	: Kalsium Oksida
CaCO ₃	: Kalsium Karbonat
MgCO ₃	: Magnesium Karbonat
Zn	: Seng
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
gr/l	: Jumlah serbuk cangkang telur ayam potong yang akan dilarutkan dalam 1 liter limbah cair
mg/l	: Jumlah kandungan gram dalam 1 liter limbah cair
SSA	: Spektrofometri Serapan Atom
P ₀	: Kontrol
P ₁	: Perlakuan pertama
P ₂	: Perlakuan kedua
P ₃	: Perlakuan ketiga
O	: Hasil perlakuan

DAFTAR NOTASI

< =	kurang dari
> =	lebih dari
Σ	= jumlah

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan masyarakat modern tidak bisa terlepas dari benda-benda yang dibuat dengan proses elektroplating seperti alat rumah tangga, otomotif dan lain-lain. Elektroplating merupakan proses pengendapan zat atau ion-ion logam pada elektroda katoda (negatif) dengan cara elektrolisis (Saleh, 2014:4). Logam yang akan dilapiskan bertindak sebagai anoda dan logam yang akan dilapisi berlaku sebagai katoda. Anoda akan melarut dan menempel pada katoda saat sumber tegangan dinyalakan. Anoda yang menempel pada katoda akan membentuk lapisan logam (Kwartaningsih et al., 2010 : 36). Salah satu keunggulan dari hasil produksi elektroplating ini adalah tahan karat, sehingga banyak orang yang menggunakan hasil produksi ini dalam kehidupan sehari-hari.

Industri elektroplating dalam kegiatannya menghasilkan berbagai limbah yang diantaranya berupa limbah padat, cair dan gas. Limbah elektroplating yang sering menjadi perhatian adalah limbah cair, hal ini dikarenakan dalam limbah cair industri elektroplating mengandung ion-ion logam berat yang bersifat toksik meskipun dalam konsentrasi yang rendah dan dapat bersifat bioakumulasi dalam siklus rantai makanan (Sharma dan Weng, 2007: 454). Logam berat yang terkandung dalam limbah elektroplating adalah Kromium (Cr^{+6}), Sianida (CN^-), Tembaga (Cu^{+2}), Seng (Zn^{+2}), Nikel (Ni^{+2}), Timbal (Pb^{+2}) dan Cadmium (Cd^{+2}) (Sumada, 2006 :27). Limbah industri yang mengandung Tembaga (Cu) melebihi baku mutu lingkungan tidak boleh dibuang ke sumber air. Baku mutu air limbah yang diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya menyebutkan bahwa parameter Cu pada air limbah bagi usaha dan atau kegiatan industri pelapisan logam dan galvanis tidak boleh melebihi 0,6 mg/l. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, setiap penanggung jawab usaha dan /atau kegiatan wajib melakukan pengolahan air limbah sehingga mutu air limbah yang dibuang tidak melampaui baku mutu air limbah . Mencegah pencemaran dilakukan dengan mengolah air limbah industri. Mengolah air limbah

bertujuan untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, membunuh organisme patogen, bahan nutrisi, komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasikan sehingga konsentrasi air limbah berkurang (Sugiharto, 1987: 95).

Air limbah yang mengandung logam berat dapat merusak lingkungan jika tidak diolah terlebih dahulu. Pembuangan air limbah industri yang tidak diolah terlebih dahulu secara terus-menerus menyebabkan terakumulasinya logam berat di sedimen dan biota perairan (Palar, 1994:63). Hal ini mengakibatkan perlakuan dalam pengolahan limbah industri menjadi topik global karena limbah dari berbagai sumber dapat terakumulasi di tanah atau masuk ke dalam sistem perairan. Logam berat dalam konsentrasi tertentu dapat memberikan efek toksik apabila melampaui ambang batas dan berada dalam tubuh manusia (Lelifajri, 2010). Terdapat penelitian terkait akumulasi logam berat pada sedimen di sungai Surabaya. Konsentrasi logam berat Cu dalam sedimen sungai Surabaya menunjukkan adanya akumulasi konsentrasi logam berat jauh lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada badan air yaitu sebesar 2,58 – 77, 29 mg/kg massa kering dan melebihi ambang baku mutu menurut ANZECC ISQG-Low (65 mg/kg) (Fitriyana, 2013:5). Ion Cu yang tinggi dalam air tentu akan sangat berbahaya bagi lingkungan.

Logam berat tembaga merupakan contoh kontaminan yang memiliki potensi merusak sistem fisiologi manusia dan sistem biologis lainnya jika melewati tingkat toleransi. Kadar logam tembaga dalam perairan yang melebihi ambang batas apabila dikonsumsi berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti kerusakan pembuluh darah, gangguan paru-paru, kanker, hingga kematian (Rahmadani, 2011). Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan Cu akut adalah mual, muntah, sakit perut, hemolisis, nefrosis, kejang dan akhirnya mati.

Pencemaran logam berat terutama Cu sudah banyak terjadi, sehingga diperlukan suatu pengelolaan limbah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu diperlukan suatu penanganan untuk mengatasi pencemaran logam tembaga dengan melakukan pengelolaan limbah sebelum di buang ke badan lingkungan. Pengelolaan limbah dengan adsorpsi merupakan metode yang menarik disebabkan ramah lingkungan serta pengoperasian yang mudah dan tarif biaya yang rendah karena kebanyakan memanfaatkan materi-

materi yang relatif murah dan mudah mendapatkannya. Penelitian ini mengangkat tentang adsorpsi Cu menggunakan cangkang telur ayam teraktivasi termal pada limbah cair industri elektroplating.

Perkembangan konsumsi telur ayam ras selama tahun 1987-2015 di Indonesia yang rata-rata mengalami peningkatan sebesar 3,57% per tahunnya dan akan terus meningkat hingga tahun 2020 mencapai 6,43 kg/kapita dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 2,98% per tahun (Pusat data dan sistem informasi pertanian, 2016: 16). Kabupaten Jember juga mengalami peningkatan jumlah konsumsi telur sebesar 48,52% dari tahun sebelumnya. Hal ini terlihat dari data hasil konsumsi telur ayam di Kabupaten Jember tahun 2015 sebesar 6 kg per kapita per tahun (Dinas Peternakan, 2015:17). Konsumsi telur yang meningkat setiap tahunnya membuat berbagai jenis cangkang telur dianggap sebagai salah satu timbulan atau sampah yang berasal dari rumah tangga maupun industri yang jumlahnya tidak sedikit. Menurut Asip (2008:2226), cangkang telur ayam potong merupakan limbah rumah tangga dan industri khususnya industri bakery dan makanan yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Saat ini cangkang telur hanya digunakan sebagai bahan baku industri kerajinan tangan. Maka dari itu cangkang telur yang merupakan salah satu jenis limbah dipergunakan sebagai adsorben dalam menyerap logam berat tembaga yang terkandung dalam limbah elektroplating dan mendukung penerapan minimasi limbah karena dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas limbah cangkang telur dengan prinsip pakai ulang (*reuse*) dan pungut ulang (*recovery*).

Cangkang telur ayam potong digunakan sebagai adsorben karena memiliki kandungan CaCO_3 (98,41%), MgCO_3 (0,84%) dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (0,75%). Setiap cangkang telur mengandung 7.000 – 17.000 pori (Stadelman, 1995 dalam Salman, 2012). Selain pori yang banyak dan luas permukaan yang besar, CaCO_3 merupakan bahan yang sesuai dalam penghilangan senyawa toksik seperti fosfat dan limbah logam dikarenakan CaO yang merupakan komponen pengaktif untuk mengadsorpsi senyawa beracun tersebut dapat dihasilkan dari CaCO_3 . Cangkang telur merupakan agen penetral dan setiap larutan yang disetarakan dengan cangkang telur akan lebih melekat ke permukaan cangkang telur serta dapat terkumpul dengan partikel cangkang telur (Chumlong Arunlertaree, 2007). Protein

asam mukopolisakarida yang dapat dikembangkan menjadi adsorben, fungsi penting asam mukopolisakarida adalah dapat mengikat ion logam berat (Chumlong Arunlertaree, 2007) yang kemungkinan dapat dijadikan adsorben untuk menjerap logam berat yang terkandung dalam limbah elektroplating.

Pemanfaatan cangkang telur sebagai adsorben telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Asip (2008), cangkang telur ayam memiliki efisiensi sebesar 99,82% dalam mengadsorpsi logam Fe, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Prasadha (2012) menunjukkan bahwa cangkang telur dapat menurunkan kandungan Pb pada limbah cair industri electroplating hingga 98,90%. Penelitian oleh Jasinda (2013) menyebutkan bahwa cangkang telur ayam dengan aktivasi suhu 600 °C memiliki luas permukaan sebesar 2700,978 m²/g sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan logam Cd dengan diperoleh hasil persentase penurunan sebesar 64,67%. Pada penelitian ini, cangkang telur akan diaktivasi secara fisika dengan menggunakan suhu 600 °C kemudian digunakan untuk mengadsorpsi kandungan logam Cu pada air limbah.

Faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi antara lain bentuk media adsorben, massa adsorben, waktu pengontakan, kemampuan adsorben dalam menyerap dan mengikat logam berat, dan jenis adsorpsi (Ngandayani, 2011). Peneliti mengambil variasi massa adsorben karena semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka semakin banyak Cu yang diserap. Pada penelitian Jasinda (2013) tentang penyerapan Cd menggunakan cangkang telur bebek menyebutkan bahwa pengikatan Cd meningkat seiring dengan besarnya jumlah adsorben. Variasi jumlah adsorben adalah 0,5, 1, dan 1,5 gram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah 1,5 gram adsorben serbuk cangkang telur bebek dapat menurunkan Cd sebesar 64,67%.

Sampel air limbah yang mengandung Cu didapat dari limbah industri elektroplating X yang berada di Kelurahan Tegal Besar, Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember. Air limbah elektroplating mengandung beberapa logam yakni Cu, Cr dan Ni. Kandungan Cu pada limbah elektroplating X berdasarkan uji pendahuluan melebihi baku mutu yang ditetapkan. Baku mutu Cu pada limbah elektroplating adalah 0,6 mg/l sedangkan kandungan Cu pada limbah industri

elektroplating X sebesar 3,18 mg/l. Serbuk cangkang telur ayam potong yang digunakan dalam adsorpsi tembaga merupakan jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah tangga maupun industri yang mudah ditemukan di lingkungan. Berdasarkan latarbelakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan serbuk cangkang telur ayam teraktivasi sebagai media adsorben terhadap logam Cu pada limbah elektroplating. Pemanfaatan serbuk cangkang telur ayam potong dapat mengurangi timbulan limbah cangkang telur dan mengurangi pencemaran lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penulisan proposal ini adalah “Apakah terdapat perbedaan kadar Cu antara limbah cair yang tidak diberi serbuk cangkang telur ayam potong sebagai kelompok kontrol dengan limbah cair yang diberi perlakuan penambahan serbuk cangkang telur ayam potong 20 gr/l, 25 gr/l, dan 30 gr/l selama 90 menit?”

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Menganalisis perbedaan 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 selama 90 menit.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Mengukur kadar Cu pada limbah cair yang tidak diberi serbuk cangkang telur ayam potong sebagai kelompok kontrol (P_0) dan yang diberi perlakuan penambahan massa serbuk cangkang telur ayam potong 20 gr/l (P_1), 25 gr/l (P_2), 30gr/l selama 90 menit (P_3).
- b. Menganalisis perbedaan kadar Cu dalam limbah cair yang tidak diberi serbuk cangkang telur ayam potong dengan kelompok yang diberi perlakuan penambahan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam potong 20 gr/l, 25 gr/l, dan 30 gr/l selama 90 menit (P_0 , P_1 , P_2 , dan P_3).

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Dapat dijadikan sebagai bahan pengembangan ilmu di bidang kesehatan masyarakat khususnya pada bidang kesehatan masyarakat khususnya pada bidang pengolahan limbah cair, khususnya limbah cair industri electroplating.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini memiliki manfaat praktis sebagai berikut :

a. Bagi Mahasiswa

Memberikan pengetahuan dan wawasan baru tentang pencemaran limbah Cu dan penggunaan serbuk cangkang telur ayam potong sebagai media adsorben dalam menurunkan kadar Cu pada limbah cair industri.

b. Bagi Fakultas

Dapat digunakan sebagai bahan bacaan terkait dengan pencemaran logam berat Cu dan gambaran pengolahan limbah cair industri dengan serbuk cangkang telur ayam potong.

c. Bagi Industri

Industri yang menghasilkan limbah Cu dapat memanfaatkan serbuk cangkang telur ayam potong sebagai media pengolahan pada limbah cair yang dihasilkan.

d. Bagi Pemerintah

Sebagai masukan dalam penentuan/pembuatan kebijakan-kebijakan yang terkait dengan pencemaran limbah industri dan membantu pemerintah untuk menangani kasus pencemaran limbah industri.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Elektroplating

2.1.1 Pengertian Elektroplating

Elektroplating merupakan salah satu proses terpenting dalam industri elektrolit. Elektroplating adalah proses pengendapan zat atau ion-ion logam pada elektroda katoda (negatif) dengan cara elektrolisis. Hasil dari elektrolisis tersebut akan mengendap pada elektroda negatif/katoda. Terjadinya suatu endapan pada proses ini disebabkan adanya ion-ion bermuatan listrik yang berpindah dari suatu elektroda melalui elektrolit (Saleh, 2014 :4)

Love dan Harun (1983:147) mendefinisikan elektroplating adalah suatu proses dimana lapisan-lapisan logam yang satu ditempelkan pada logam lain dengan jalan aksi elektrolisa. Benda kerja berfungsi sebagai salah satu sirkuit listrik, digantungkan dalam suatu larutan yang mengandung garam metalik yang cocok dan dikenal dengan nama elektrolit yang berfungsi sebagai pengantar. Bahan untuk pelapisan ditempatkan pada sisi negatif dari sirkuit yang dikenal dengan katoda sedangkan sisi positif dari sirkuit disambungkan pada suatu batang atau pelat yang digantungkan dalam elektrolit yang dikenal dengan anoda. Love dan Harun juga menjelaskan bahwa persiapan untuk pelapisan meliputi pembersihan yang teliti, pemolesan dan pembersihan lemak yang diikuti dengan pencelupan ke dalam larutan asam untuk membersihkan suatu hasil yang mengkilap atau disikat dengan sikat kawat kuningan yang halus untuk mendapatkan hasil yang suram.

Proses Elektroplating memiliki tujuan utama untuk mengubah dan meningkatkan nilai logam dengan meningkatkan penampilannya. Namun, kepentingan *finishing* logam untuk tujuan dekoratif telah menurun. Hal ini dikarenakan saat ini tujuan utama elektroplating adalah untuk merawat permukaan benda atau barang logam dari ketahanan korosi atau dampak sifat fisik mekanis dari permukaan barang yang terbuat dari logam (Siah, 2009:425)

Prinsip dasar dari proses pelapisan elektroplating adalah berdasarkan pada hukum faraday yang menyatakan bahwa jumlah zat-zat terbentuk dan terbebas pada

elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit. Di samping itu jumlah zat yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut (Saleh, 2014:4-5). Secara spesifik elektroplating digunakan pada pelapisan tembaga, perak, dan kromium. Dalam industri, proses elektroplating dapat memungkinkan produsen menggunakan logam murah seperti baja, tembaga, atau seng sebagai bahan dasar awal. Selanjutnya melalui proses elektroplating, logam tersebut dilapisi emas dan perak. Tujuannya untuk mendapatkan hasil terbaik sebagai perlindungan anti korosif dan nilai estetika (Mittal dalam Rosyeni, 2015: 9).

Beberapa logam memiliki tujuan berbeda-beda dalam proses elektroplating. Logam seperti emas, perak, nikel dan kromium digunakan sebagai pelapisan untuk meningkatkan penampilan obyek. Seng, tembaga, timah biasanya digunakan untuk pelapisan pencegah korosi. Kadang-kadang elektroplating digunakan untuk meningkatkan ketebalan item (Helmenstine, 2013:1). Kategori logam plating tersebut memiliki perbedaan sesuai dengan fungsi dan tujuan produksinya. Kategori logam plating diantaranya (Mittal dalam Rosyeni, 2015:9)

a. *Sacrificial Coating*

Digunakan sebagai proteksi, logam yang digunakan bahan dasar lapisan. Contohnya : Zn, Cd, Cu

b. *Decorative Coating*

Digunakan secara primer untuk tujuan perbandingan dan ketertarikan. Contohnya : baja, Ni, Cr, Zn

c. *Functional Coating*

Digunakan sebagai pelapis untuk kebutuhan fungsional. Contoh : mas, perak, platinum, rhodium

d. *Minor Metal*

Biasanya yang digunakan adalah besi, kobalt, dan indium, karena mereka mudah untuk piring, namun jarang sekali digunakan untuk plating

e. *Unusual Metal Coating*

Merupakan logam yang jarang sekali digunakan untuk plating daripada minor metals. Contohnya : As, Sb, Bi, Mn, Al, Re, Zr, Hf, Ta, Nb, W dan Mo.

f. *Alloy Coating*

Merupakan perpaduan zat yang memiliki sifat logam dan terdiri dua atau lebih elemen. Lapisan ini disebut oleh plating dua logam dalam sel sama. Kombinasi umum meliputi, emas-tembaga-kadmium, seng-kobalt, seng-besi, seng-nikel, dan timah-kobalt.

Pada industri Elektroplating X fungsi dan tujuan produksinya adalah sebagai *sacrificial coating* yakni pelapisan logam sebagai proteksi bagi logam yang digunakan bahan dasar pelapisan (mittal dalam rosyeni, 2015 :9). Logam yang memiliki fungsi sebagai proteksi ini adalah logam tembaga dimana logam tembaga ini berfungsi sebagai pelindung bagi logam besi terhadap reaksi oksidasi atau karat. Fungsi dan tujuan lain pelapisan logam pada Industri Elektroplating X ini adalah *decorative coating* yakni pelapisan logam yang bertujuan untuk menarik dan memperindah bahan logam yang dilapisi. Logam yang digunakan sebagai bahan pelapis pada besi dan aluminium ini adalah logam nikel dan kromium, dimana logam nikel yang memiliki kekerasan, kekuatan, keuletan dan daya hantar listrik yang baik berfungsi sebagai memperkeras dan memperhalus permukaan bahan yang dilapisi (Saleh, 2014:91). Sedangkan logam kromium berfungsi untuk meningkatkan ketahanan korosi, kekuatan serta sebagai bahan pelapis dekoratif (Saleh, 2014:104).

a. Proses Pelapisan Logam pada Industri Elektroplating

Proses produksi Industri Elektroplating X ini adalah melapisi logam besi dan aluminium. Sedang logam yang digunakan sebagai bahan pelapis adalah logam tembaga, nikel, dan kromium. Secara garis besar proses pelapisan logam dengan metode elektroplating pada Industri Elektroplating X di Kelurahan Tegal Besar terdiri dari 3 tahapan utama yakni:

1) Proses Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Proses pendahuluan atau *pre treatment* adalah proses persiapan permukaan bahan sebelum dilakukan pelapisan dengan logam. Tahapan ini bertujuan untuk meningkatkan daya ikat antara bahan yang dilapisi dengan logam pelapisnya. Pada tahap proses pendahuluan ini terdapat beberapa tahapan proses yang diantaranya adalah :

a) Penghilangan Lapisan Cat pada Bahan

Pada Industri Elektroplating X proses menghilangkan lapisan cat pada bahan dilakukan dengan cara yang berbeda tergantung dari bahan yang akan dilapisi. Untuk bahan aluminium cara menghilangkan lapisan cat pada bahan dilakukan dengan merendam bahan aluminium dengan *paint remover* selama ± 30 menit, hingga lapisan cat mengelupas dari bahan aluminium setelah itu dilakukan penyikatan pada permukaan bahan dan pembilasan dengan air. Pembersihan lapisan cat dari bahan dengan menggunakan *paint remover* ini juga merupakan teknik pengerjaan pendahuluan secara kimia dengan metode pembersihan pelarut (Saleh, 2014:52). Penghilangan lapisan cat dari bahan besi dilakukan dengan membakar lapisan bahan dengan mesin las hingga lapisan cat bersih dari permukaan bahan besi.

b) Penghilangan Lapisan Karat

Pada Industri Elektroplating X tahapan ini tidak selalu ada tergantung dari bahan yang akan dilapisi. Bahan yang melalui tahapan ini adalah bahan besi karena bahan besi mudah mengalami pengkaratan, sedangkan bahan aluminium tidak melewati tahapan proses ini. Untuk menghilangkan lapisan karat Industri Elektroplating X ini merendam bahan dengan larutan asam klorida (HCl), hingga kerak atau karat terangkat dari permukaan bahan dan dilakukan pembilasan dengan air bersih. Pembersihan lapisan karat dengan menggunakan asam klorida (HCl) merupakan teknik pembersihan pendahuluan secara kimia dengan menggunakan metode pencucian dengan asam (*pickling*), yakni pembersihan permukaan benda kerja dari oksida atau karat secara kimia melalui perendaman dengan bahan asam seperti asam klorida (HCl), asam sulfat (H₂SO₄), dan asam fluoride (HF) (Saleh, 2014:56).

c) Penghalusan dan Pemerataan Bahan

Pada Industri Elektroplating X proses memperhalus dan pemerata permukaan bahan dilakukan dalam dua tahapan. Pada tahapan pertama bahan baku yang akan dilapisi disikat atau dipoles untuk menghilangkan goresan-goresan pada permukaan bahan. Setelah dilakukan penyikatan atau pemolesan tahapan

selanjutnya adalah proses rempelas yang bertujuan untuk menghaluskan dan mengkilatkan permukaan bahan yang akan dilapisi.

d) Pembersihan dan Penghilangan Lapisan Minyak dan Lemak pada Permukaan Bahan

Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan lapisan minyak dan lemak pada permukaan bahan yang dihasilkan dalam proses poles dan rampalas. Pada Industri Elektroplating X tahapan pengerjaan ini dilakukan dengan memasukkan bahan baku kedalam cairan yang panas untuk dilakukan perebusan.

2) Proses Pelapisan Logam

Setelah proses pendahuluan tahap selanjutnya adalah proses pelapisan logam. Pada prinsipnya proses pelapisan logam dengan elektroplating secara fisik terdiri dari empat rangkaian yakni eksternal, anoda, larutan elektrolit dan katoda (benda kerja) (Osborne, 2013). Prinsip kerja dari pelapisan logam dengan metode elektroplating ini adalah bila arus listrik searah dialirkan antara kedua elektroda anoda dan katoda dalam larutan elektrolit maka muatan ion positif ditarik oleh katoda. Sementara ion bermuatan negatif berpindah kearah anoda, ion-ion tersebut dinetralsir oleh kedua elektroda dan larutan elektrolit yang hasilnya diendapkan pada elektroda katoda. Hasil yang terbentuk merupakan lapisan logam dan gas hidrogen (Saleh, 2014:6).

Pada Industri Elektroplating Kelurahan X proses pelapisan logam pada bahan baku terdiri dari:

a) Proses pelapisan tembaga

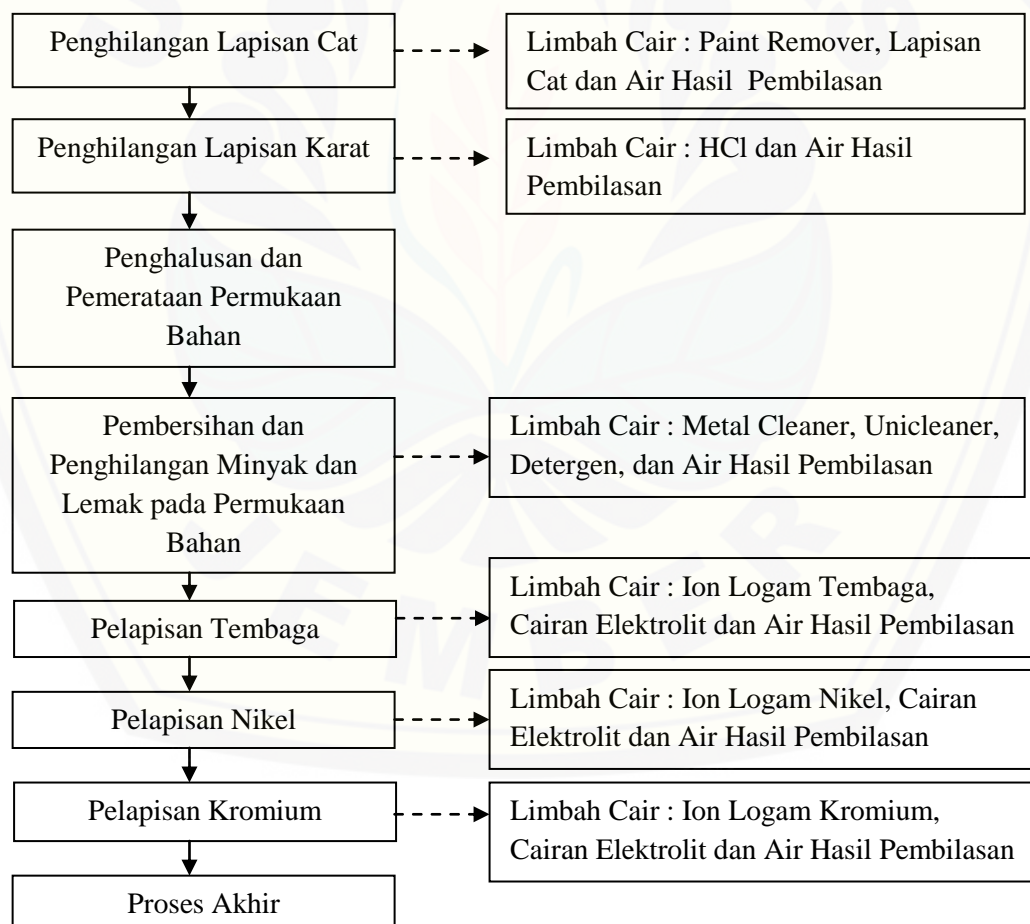
Proses pelapisan tembaga adalah proses pelapisan bahan baku yang akan dilapisi dengan lapisan logam tembaga. Bahan baku yang akan dilapisi oleh tembaga hanyalah bahan baku besi. Tujuan dari pelapisan bahan baku dengan tembaga adalah untuk mencegah terjadinya karat pada bahan baku.

Tahapan proses pelapisan tembaga antara lain :

- (1) Mempersiapkan logam besi yang sebelumnya telah melalui proses pendahuluan
- (2) Pencelupan permukaan logam besi dengan cairan asam sulfat
- (3) Pembilasan dengan air

- (4) Pencelupan logam besi pada cairan elektrolit yang telah dialiri arus listrik.
Lama pencelupan tergantung luas permukaan logam besi yang dilapisi
- (5) Pengangkatan dan pembilasan logam besi dengan air.
- 3) Proses Akhir (*Post Treatment*)

Langkah terakhir dari pelapisan logam dengan metode elektroplating ini adalah pembilasan dan pengeringan. Namun, terkadang perlu dilakukan pengerjaan lanjutan, misalnya pada Industri Elektroplating X jika hasil akhir produk yang dilapisi terdapat permukaan yang gosong atau terbakar, maka akan dilakukan penggosokan permukaan benda dengan batu hijau. Tujuan adanya proses akhir ini adalah mengkilapkan permukaan logam aluminium dan besi yang telah dilapisi. Berikut adalah bagan tahapan proses pelapisan logam pada Industri Elektroplating X dan limbah cair yang dihasilkan pada tiap tahapan prosesnya terdapat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Tahapan Proses Produksi Industri Elektroplating dan Limbah Cair yang Dihasilkan

2.2 Pencemaran Air

Dalam Peraturan Daerah Nomor 2 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya

Pencemaran air juga merupakan penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, bukan dari kemurniannya. Air yang tersebar di alam semesta ini tidak pernah terdapat dalam bentuk murni, namun bukan berarti bahwa semua air sudah tercemar. Walaupun di daerah pegunungan atau hutan yang terpencil dengan udara yang bersih dan bebas dari pencemaran air, air hujan yang turun di atasnya selalu mengandung bahan-bahan terlarut. Seperti CO₂, O₂, dan N₂, serta bahan-bahan tersuspensi misalnya debu dan partikel-partikel lainnya yang terbawa air hujan dari atmosfer (Warlina, 2004).

Berdasarkan definisi pencemaran air, penyebab terjadinya pencemaran dapat berupa masuknya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air tercemar. Masukan tersebut sering disebut dengan istilah unsur pencemar, yang pada prakteknya berupa buangan yang bersifat rutin, misalnya buangan limbah cair. Air sering tercemar oleh berbagai komponen anorganik, diantaranya berbagai jenis logam berat yang berbahaya, yang beberapa di antaranya banyak digunakan dalam berbagai keperluan sehingga diproduksi secara kontinyu dalam skala industri (Hasrianti, 2013:61).

Bahan pencemar air secara umum dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.1. Tidak semua perairan mengandung bahan pencemar yang sama karena terjadinya pencemaran ditentukan oleh banyak faktor.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Umum dari Bahan Pencemar Air

Jenis Bahan Pencemar	Pengaruhnya
Unsur-unsur renik	Kesehatan, biota akuatik
Senyawa organ logam	Transpor logam
Polutan anorganik	Toksisitas, biota akuatik
Asbestos	Kesehatan manusia
Hara-ganggang	Eutrofikasi

Radionuklida	Toksisitas
Zat pencemar organik renik	Toksisitas
Pestisida	Toksisitas, biota akuatik, satwa liar
PCB	Kesehatan manusia
Karsinogen	Penyebab kanker
Limbah minyak	Satwa liar, estetika
Patogen	Kesehatan manusia
Detergen	Introfikasi, estetika
Sedimen	Kualitas air, estetika
Rasa, bau, dan warna	Estetika

Sumber: Hasrianti, 2012

2.3 Logam Berat

Saat ini, beban pencemaran dalam lingkungan air sudah semakin berat dengan masuknya limbah industri dari berbagai bahan kimia yang kadang kala sangat berbahaya dan beracun meskipun dalam konsentrasi yang masih rendah seperti bahan pencemar logam-logam berat. Istilah logam berat sebetulnya dapat dipergunakan secara luas terutama dalam perpustakaan ilmiah. Karakteristik dari kelompok logam berat antara lain memiliki gravitas spesifik yang sangat besar yaitu lebih dari 4, mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida, mempunyai respon biokimia khas pada organisme hidup. Beberapa logam berat tersebut banyak digunakan dalam berbagai keperluan. Oleh karena itu, beberapa logam diproduksi secara rutin dalam skala industri. Penggunaan logam-logam berat tersebut dalam berbagai keperluan sehari-hari berarti secara langsung maupun tidak langsung, atau sengaja maupun tidak sengaja, telah mencemari lingkungan. Logam-logam berat diketahui dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun.

Menurut Palar (1994:23) logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan, logam tersebut tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh karena unsur besi (Fe)

dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen. Sedangkan unsur logam berat baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu) bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh (Hasrianti, 2013:62).

Menurut Palar (2004), logam berat berdasarkan sifat racunnya dapat dikelompokkan menjadi 4 golongan yaitu :

- a. Sangat beracun, dapat mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang pulih dalam waktu yang singkat. logam-logam tersebut adalah Hg, Pb, Cd, Cr, dan As.
- b. Moderat. yaitu mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang pulih maupun tidak dalam waktu yang relatif lama. logam-logam tersebut adalah Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Co, dan Rb.
- c. Kurang beracun. logam ini dalam jumlah besar menimbulkan gangguan kesehatan. logam-logam tersebut adalah Al, Bi, Co, Fe, Mg, Ni, K, Ag, Ti, dan Zn.
- d. Tidak beracun. yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Logam-logam tersebut adalah Na, Sr, dan Ca.

2.4 Logam Berat Tembaga (Cu)

2.4.1 Sifat Cu

Menurut Palar (1994: 61), tembaga dengan nama kimia *cupprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai massa atom relatif 63,546. Densitas tembaga ialah 8,90 dan titik cairnya 1084°C. Tembaga (Cu) adalah logam yang paling beracun terhadap organisme laut selain merkuri dan perak (Clark, 1992).

2.4.2 Sumber dan kegunaan Cu

Logam tembaga merupakan salah satu logam berat yang keberadaan dalam lingkungan dapat berasal dari pembuangan air limbah industri kimia yang berasal dari industri penyamakan kulit, pelapisan logam, tekstil, maupun industri cat. Dalam air limbah tembaga dapat ditemukan sebagai Cu(I), Cu(II), dan Cu(III) yang berbentuk padat, namun keberadaan tembaga (III) sangat jarang ditemukan.

Kebanyakan tembaga digunakan untuk peralatan listrik (60 %); konstruksi, seperti atap dan pipa (20%); mesin industri, seperti penukar panas (15 %); dan paduan logam (5 %) (Nor, 2013:8).

Paduan tembaga yang sudah dikenal sejak lama adalah perunggu; kuningan (paduan tembaga-seng); paduan tembaga-timah-seng, yang cukup kuat untuk membuat senjata dan meriam; paduan tembaga dan nikel, yang dikenal sebagai *cupronickel* dan digunakan sebagai pembuat mata uang logam. Tembaga ideal digunakan sebagai kabel jaringan listrik karena mudah ditangani, dapat ditarik menjadi kawat halus, dan memiliki konduktivitas listrik tinggi.

2.4.3 Keberadaan Cu di Air/Limbah Cair

Di alam, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Logam tembaga ini secara alamiah dapat masuk ke perairan melalui pengompleksan partikel logam di udara karena hujan dan peristiwa erosi yang terjadi pada batuan mineral yang ada di sekitar perairan (Palar, 1994: 61).

Secara non alamiah Cu masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari suatu aktifitas manusia. Jalur dari aktifitas manusia ini untuk memasukkan Cu ke dalam lingkungan ada berbagai macam cara. Salah satunya adalah dengan pembuangan oleh industri yang memakai Cu dalam proses produksinya. Aktifitas manusia, seperti buangan industri, pertambangan Cu, industri galangan kapal dan bermacam-macam aktivitas pelabuhan lainnya merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam badan-badan perairan (Palar, 1994:66).

Logam Cu termasuk logam berat esensial, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah yang kecil. Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994:64).

Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa Cu merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Selanjutnya oleh Palar (1994:67) dinyatakan bahwa biota perairan

sangat peka terhadap kelebihan Cu dalam perairan sebagai tempat hidupnya. Konsentrasi Cu terlarut yang mencapai 0,01 ppm akan menyebabkan kematian bagi fitoplankton. Dalam tenggang waktu 96 jam biota yang tergolong dalam *mollusca* akan mengalami kematian bila Cu yang terlarut dalam badan air berada pada kisaran 0,16 sampai 0,5 ppm.

2.4.4 Efek Toksik Tembaga Bagi Kesehatan dan Lingkungan

Tembaga adalah logam yang secara jelas mengalami proses akumulasi dalam tubuh hewan seiring dengan pertambahan umurnya, dan ginjal merupakan bagian tubuh ikan yang paling banyak terdapat akumulasi Tembaga. Paparan tembaga dalam waktu yang lama pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan penduduk (Widowati, 2008).

Meskipun bersifat racun namun logam tembaga (II) juga mempunyai beberapa fungsi didalam tubuh yaitu merupakan elemen essensial yang sangat penting bagi protein, metalo enzim, beberapa pigmen yang ada di alam dan untuk sintesis hemoglobin serta pembentukan tulang. Tembaga dalam jumlah kecil diperlukan oleh tubuh untuk pertumbuhan sel-sel darah merah. Akibat dari sifat racun yang dimilikinya, maka logam tembaga (II) juga berdampak buruk bagi tubuh, yaitu dalam jumlah besar dapat menyebabkan rasa yang tidak enak pada lidah. Kadar maksimum yang diperbolehkan adalah 0,05-1,5 ppm. Keracunan sistemik dapat meluas terhadap kerusakan serabut-serabut darah (kapiler), kerusakan ginjal, saraf sentral, dan diikuti pula dengan depresi. Apabila keracunan dalam jumlah kecil terus-menerus dapat menimbulkan pigmentary cirrhosis hati (hati mengeras).

Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan Cu akut adalah: mual, muntah, sakit perut, hemolisis, netrofisis, kejang, dan akhirnya mati. Pada keracunan kronis, Cu tertimbun dalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi karena tertimbunnya H₂O₂ dalam sel darah merah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel yang mengakibatkan sel menjadi pecah. Defisiensi suhu dapat menyebabkan anemia dan pertumbuhan terhambat (Darmono, 2005).

Namun jika dampak tembaga dilihat dari segi lingkungan, dalam kondisi normal, keberadaan Cu dalam perairan ditemukan dalam bentuk senyawa ion CuCO_3 , Cu(OH)_2 dan lain-lain. Biasanya jumlah Cu yang terlarut dalam perairan laut adalah 0,002 ppm sampai 0,005 ppm. Bila dalam badan perairan laut terjadi peningkatan kelarutan Cu, sehingga melebihi nilai ambang batas yang semestinya, maka akan terjadi peristiwa “biomagnifikasi” terhadap biota perairan. Peristiwa ini dapat terjadi sebagai akibat dari telah terjadinya konsumsi Cu dalam jumlah yang berlebihan, sehingga tidak mampu dimetabolisme oleh tubuh (Palar,1994).

2.5 Cangkang Telur Ayam Potong

Cangkang telur adalah bagian terluar dari telur yang berfungsi memberi perlindungan bagi komponen-komponen isi telur dari kerusakan, baik secara fisik, kimia maupun mikrobiologis (Jamila, 2014:1). Bila dilihat dengan mikroskop maka kulit telur terdiri dari 4 lapisan yaitu:

1. Lapisan kutikula. Lapisan kutikula merupakan protein transparan yang melapisi permukaan kulit telur. Lapisan ini melapisi pori-pori pada kulit telur, tetapi sifatnya masih dapat dilalui gas sehingga keluarnya uap air dan gas CO_2 masih dapat terjadi.
2. Lapisan busa. Lapisan ini merupakan bagian terbesar dari lapisan kulit telur. Lapisan ini terdiri dari protein dan lapisan kapur yang terdiri dari kalsium karbonat, kalsium fosfat, magnesium karbonat dan magnesium fosfat.
3. Lapisan mamillary. Lapisan ini merupakan lapisan ketiga dari kulit telur yang terdiri dari lapisan yang berbentuk kerucut dengan penampang bulat atau lonjong. Lapisan ini sangat tipis dan terdiri dari anyaman protein dan mineral.
4. Lapisan membrane. Merupakan bagian lapisan kulit telur yang terdalam. Terdiri dari dua lapisan selaput yang menyelubungi seluruh isi telur. Tebalnya lebih kurang 65 mikron (Nasution dalam Atika, 2014: 6)

Komposisi kimia dari kulit telur terdiri dari protein 1,71%, lemak 0,36%, air 0,93%, serat kasar 16,21%, abu 71,34% (Nursiam dalam Syam dkk, 2014:6). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya oleh Miles, serbuk kulit telur ayam potong mengandung kalsium sebesar $401 \pm 7,2$ gram atau sekitar 39% kalsium, dalam bentuk kalsium karbonat (Syam dkk, 2014:6). Kalsium karbonat adalah

garam kalsium yang terdapat pada kapur, batu kapur, pualam dan merupakan komponen utama yang terdapat pada kulit telur (Soine dalam Atika dkk, 2014:6).

Kalsium karbonat berupa serbuk, putih, tidak berbau, tidak berasa, stabil di udara. Praktis tidak larut dalam air, kelarutan dalam air meningkat dengan adanya sedikit garam amonium atau karbon dioksida. Larut dalam asam nitrat dengan membentuk gelembung gas. Salah satu sifat kimia dari CaCO_3 adalah dapat menetralisasi asam. Cangkang telur memiliki sifat-sifat adsorpsi yang baik, seperti struktur pori, CaCO_3 dan protein asam mukopolisakarida yang dapat dikembangkan menjadi adsorben. Gugus fungsi terpenting dari protein asam mukopolisakarida adalah karboksil, amina dan sulfat yang dapat mengikat ion logam berat untuk membentuk ikatan ion. Selain itu, cangkang telur merupakan agen netralisasi dimana semua jenis larutan mudah mengalami kesetimbangan sehingga logam berat dapat mengendap dan terdeposit dalam partikel cangkang telur. Salah satu keuntungan menggunakan biomaterial (cangkang telur) sebagai adsorben adalah mudah diregenerasi (Arunlertaree, Chumlong *et al.*, 2007: 857). Regenerasi dapat dilakukan melalui desorpsi sehingga dapat dilakukan *recovery* logam-logam yang telah disisihkan dan adanya *reuse* adsorben. Adapun luas permukaan cangkang telur lebih besar, sehingga daya adsorpsinya lebih tinggi. Selain itu, cangkang telur dapat dijadikan sebagai adsorben dalam keadaan aktivasi maupun tidak diaktivasi, sehingga lebih fleksibel dalam pembuatan dan segi biaya. Selanjutnya, adsorben cangkang telur memiliki kemampuan lebih dalam menyerap logam berat dibandingkan dengan karbon aktif. Jadi, dari segi daya adsorpsi, analisa biaya, dan jumlah adsorben dapat dilihat bahwa cangkang telur lebih baik sehingga digunakan cangkang telur pada penelitian ini.

2.6 Serbuk Cangkang Telur Ayam Potong

2.6.1 Definisi

Serbuk cangkang telur adalah serbuk yang dihasilkan dari proses pengolahan cangkang telur menjadi serbuk setelah melewati proses aktivasi termal dengan suhu 600 °C. Hal ini disebabkan karena dengan perlakuan termal maka struktur pori adsorben lebih terbuka dan semakin banyak CaCO_3 yang terdekomposisi menjadi CaO sehingga lebih efektif dalam menyerap logam berat.

Cangkang telur non aktivasi memiliki luas permukaan sebesar 12,9553 m²/g sedangkan yang diaktivasi fisika pada suhu 600 °C sebesar 2700,978 m²/g (Jasinda, 2013 :11).

2.6.2 Kelebihan Bentuk Serbuk

Laju reaksi adsorpsi dapat dipengaruhi oleh luas permukaan bidang sentuh antara zat-zat yang bereaksi. Suatu zat padat akan lebih cepat bereaksi jika permukaannya diperluas dengan cara mengubah bentuk kepingan menjadi serbuk atau ukuran diperkecil. Pembuatan adsorben dalam bentuk serbuk yang seragam bertujuan untuk memperluas bidang kontak antara adsorben dengan larutan sehingga proses penyerapan dapat berjalan secara optimal. Luas permukaan merupakan salah satu karakter fisik yang berhubungan langsung dengan kemampuan adsorpsi terhadap zat-zat yang akan diserap. Bila adsorben memiliki luas permukaan besar akan memberikan bidang kontak yang lebih besar antara adsorben dan adsorbatnya sehingga adsorbat dapat terserap lebih banyak. Dalam bentuk serbuk, ukurannya menjadi lebih kecil tetapi jumlahnya banyak sehingga luas permukaan bidang tumbukan antara zat pereaksi akan semakin besar. Saat suatu zat ditambahkan ke dalam suatu larutan lain, permukaan zat tersebut akan bersentuhan dengan larutan. Menurut teori tumbukan, semakin besar permukaan zat yang bersentuhan dengan partikel lain, peluang terjadinya reaksi adsorpsi semakin banyak sehingga reaksi antar zat dengan larutan semakin cepat (Imtisal, Hanifah, 2015: 24).

2.7 Aktivasi Fisika (Termal)

Aktivasi fisika adalah suatu perlakuan terhadap adsorben yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan kimia atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga mengalami perubahan sifat secara fisika yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Tujuan dari proses ini adalah mempertinggi volume, memperluas diameter pori dan dapat menimbulkan beberapa pori yang baru. Adapun aktivasi fisika dilakukan dengan menggunakan alat *furnace*. *Furnace* adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk memanaskan bahan, mengubah bentuknya dan sifat-sifatnya. Prinsip kerjanya adalah memanaskan bahan sampel dengan

memasukkan dalam ruang pemanas. Panas pada termokopel berasal dari filamen yang diberi tegangan sehingga menimbulkan panas. Cangkang telur ayam potong yang telah melalui pemanasan pada suhu 600 °C mengandung sebagian 94% CaCO_3 dan sebagian kecil CaO , sehingga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Kapasitas adsorpsi dari adsorben dapat dinaikkan dengan proses aktivasi untuk memberikan sifat yang diinginkan (Jasinda, 2013 : 10)

Aktivasi fisika (secara termal) adalah suatu perlakuan terhadap adsorben yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan kimia atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga mengalami perubahan sifat secara fisika yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Tujuan dari proses ini adalah mempertinggi volume, memperluas diameter pori dan dapat menimbulkan beberapa pori yang baru. Peningkatan luas permukaan adsorben ini dikarenakan abu dan pengotor lainnya yang terdapat dalam adsorben terlepas pada saat proses pemanasan dan aktivasi. Lepasnya pengotor ini dapat membuka pori dari adsorben tersebut (Mujizah, Siti., 2010 :30)

2.8 Adsorpsi

Salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan zat pencemar dari air limbah adalah adsorpsi. Adsorpsi adalah proses fisik atau kimia dimana senyawa berakumulasi di permukaan (*interface*) antar dua fase. *Interface* merupakan suatu lapisan yang homogen antara dua permukaan yang saling berkontak. Substansi yang diserap disebut adsorbat sedangkan material yang berfungsi sebagai penyerap disebut adsorben (Jasinda, 2013:20).

Adsorpsi biasanya dapat dijelaskan dari tegangan permukaan suatu zat padat. Molekul-molekul yang ada dalam zat padat mendapat gaya-gaya yang tidak sama, sehingga untuk mengimbangi gaya-gaya bagian dalam maka molekul-molekul, biasanya gas atau liquid menjadi tertarik ke permukaan. Gaya ini relatif rendah dan disebut gaya Van der Waals. Dalam peristiwa adsorpsi, zat-zat yang tertarik pada permukaan zat padat disebut dengan adsorbat, sedangkan adsorben adalah suatu adsorber dalam suatu peristiwa adsorpsi. Mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu :

1. Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar larutan ke permukaan interface. yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben atau eksternal.
2. Molekul adsorben dipindahkan dari permukaan ke permukaan luar dari adsorben (*exterior surface*).
3. Molekul-molekul adsorbat dipindahkan dari permukaan luar adsorben menyebar menuju pori-pori adsorben. Fase ini disebut dengan difusi pori.
4. Molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori adsorben.

Umumnya adsorpsi ion logam dari larutan ke permukaan adsorben merupakan adsorpsi fisik dimana gaya yang bekerja antar logam berat dari permukaan karbon aktif adalah gaya Van der Waals dimana tidak terjadi reaksi kimia atau pengikatan secara ionik logam dengan adsorben.

Menurut Mufrodi dkk (2008: 91), ada dua metode adsorpsi yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Perbedaan dasar antara adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia adalah sifat dari gaya-gaya yang menyebabkan ikatan adsorpsi tersebut.

1. Adsorpsi fisika

Ikatan Van der Waals. *reversible*. karena proses penyerapan dapat lepas kembali ke dalam pelarut, kalor adsorpsi kecil yaitu 5-10 kkal/mol, kecepatan pembentukan ikatan cukup tinggi, regenerasi dapat dilakukan, terjadi pada suhu rendah, makin tinggi suhu tingkat penyerapan semakin kecil.

2. Adsorpsi kimia

Ikatan kimia *irreversible*, karena proses penyerapan tidak dapat dilepas kembali ke dalam pelarut, kalor adsorpsi besar yaitu 10-100 kkal/mol, kecepatan pembentukan ikatan bisa lambat bisa cepat, tergantung besarnya energi aktivasi. Regenerasi tidak dapat dilakukan dan terjadi pada suhu tinggi, makin tinggi suhu tingkat penyerapan semakin besar.

Proses biosorpsi logam berat dengan adsorben hayati merupakan proses yang kompleks dan mekanismenya bisa bervariasi tergantung bahan baku adsorbennya. Bila didasarkan pada metabolisme sel, maka mekanismenya dapat dibagi menjadi adsorpsi yang tergantung pada metabolisme sel dan yang tidak tergantung pada metabolisme sel. Bila bahan baku biosorpsi adalah dari limbah pertanian, maka mekanisme yang mungkin adalah yang tidak tergantung pada

metabolisme sel. Mekanisme biosorpsi pada bahan-bahan ini umumnya didasarkan pada interaksi kimia fisika antara ion logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan sel. Interaksi tersebut dapat berupa interaksi elektrostatik, *ion exchange* maupun pembentukan kompleks chelat. Sementara proses biosorpsi sendiri dapat dibagi dalam dua proses utama yaitu adsorpsi ion pada permukaan sel serta bioakumulasi sel adsorben (Kurniasari dkk, 2012:3).

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah sebagai berikut :

1. Jenis adsorbat

- a) Ukuran molekul adsorbat Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.
- b) Kepolaran zat Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul - molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

2. Karakteristik adsorben

- a) Kemurnian adsorben Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.
- b) Luas permukaan dan volume pori adsorben Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. Tekanan (P) Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

4. Temperatur absolut (T) Temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa eksotermis. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.

5. Interaksi potensial (E) Interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi tergantung dari sifat adsorbat-adsorben (Asip, 2008).

2.9 ADSORBEN

Kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada daerah tertentu di dalam partikel itu. Karena pori-pori adsorben biasanya sangat kecil, maka luas permukaan dalamnya menjadi beberapa kali lebih besar dari permukaan luar. Adsorben yang telah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi (Khaerudin, J.M *et al.*, 2007 :18)

Syarat-syarat adsorben yang baik, antara lain:

1. Mempunyai daya jerap yang tinggi.
2. Berupa zat padat yang mempunyai luas permukaan yang besar.
3. Tidak boleh larut dalam zat yang akan diadsorpsi.
4. Tidak boleh mengadakan reaksi kimia dengan campuran yang akan dimurnikan.
5. Dapat diregenerasi kembali dengan mudah.
6. Tidak beracun.
7. Tidak meninggalkan residu berupa gas yang berbau.
8. Mudah didapat dan harganya murah (Putro, Agung *et al.*, 2010 :17)

2.10 Penelitian Terdahulu

Pada saat ini dalam berbagai penelitian telah menggunakan berbagai macam jenis adsorben salah satunya adalah cangkang telur ayam. Adapun setiap jenis adsorben tersebut masing-masing memiliki proses pembuatan adsorben dan karakterisasi yang berbeda-beda. Pemanfaatan cangkang telur sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, diantaranya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Daftar Nama Peneliti, Judul Penelitian, Proses Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur

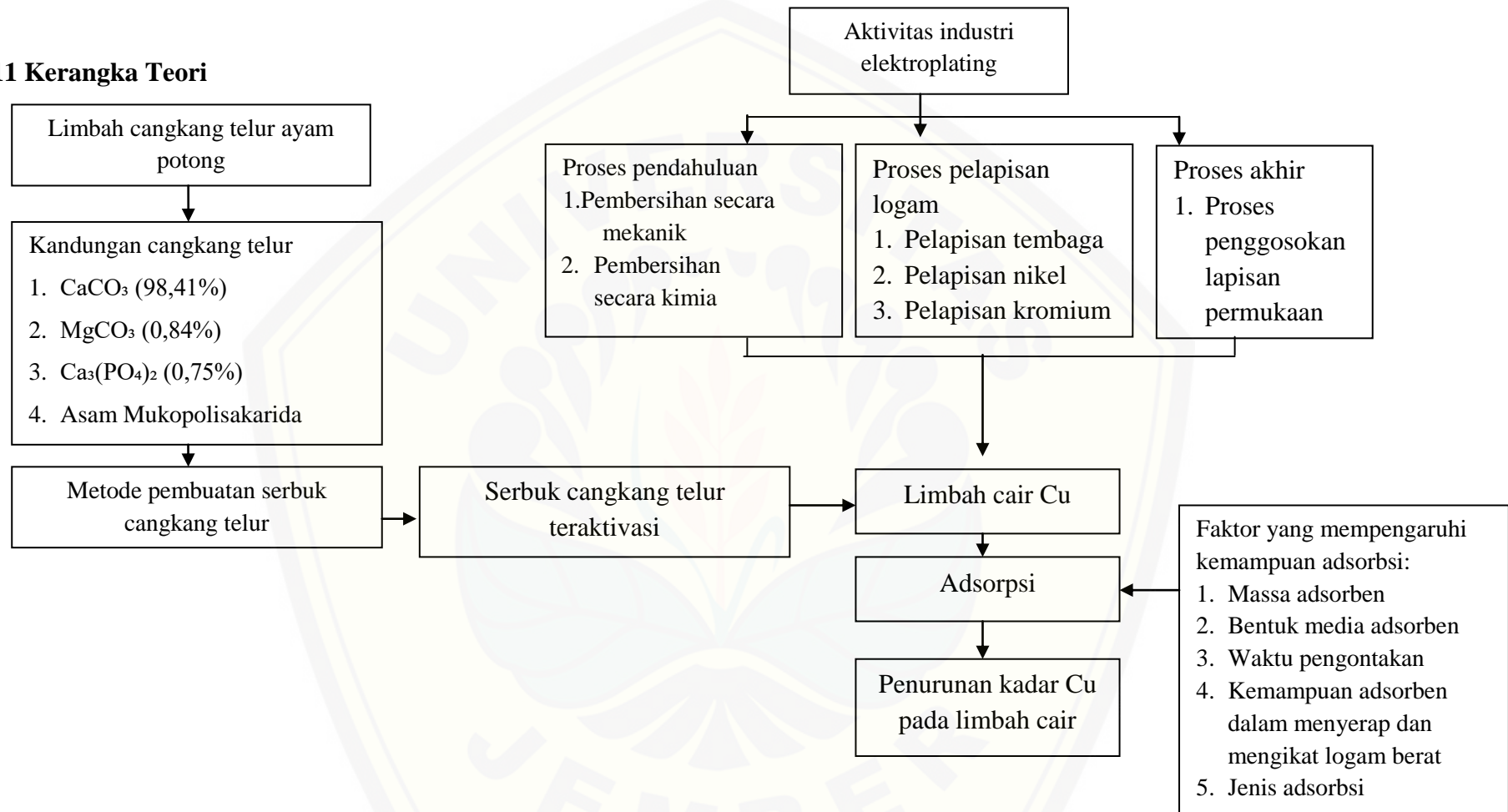
Nama, Tahun	Judul Penelitian	Proses Pembuatan Adsorben dan Karakterisasi
W.T. Tsai et al, 2005	Karakterisasi dan sifat adsorpsi cangkang telur dan membran	Cangkang telur yang mengandung membran disimpan dalam air es. Cangkang telur ayam <i>distripping</i> dari membrannya setelah mengalami pembersihan. Membran tersebut direndam dalam larutan asam asetat 70% selama dua hari untuk melarutkan residu cangkang telur, kemudian dicuci dengan air deionisasi untuk melemahkan asam dan dikeringkan di <i>oven</i> pada suhu 50 ⁰ C selama 2 hari. Kemudian, cangkang telur dan membrannya digiling menjadi partikel serbuk sebagai adsorben. Karakterisasinya menggunakan analisa SEM (JEOL JXA-840) beroperasi pada 20 kV, FTIR, dan analisis komponen dengan <i>elemental analyzer</i> (CHN-O-RAPID, Heraeus Co., Germany)
Nuttawan dan Nuttakan, 2006	Adsorpsi zat warna reaktif dengan menggunakan cangkang telur dan membran	Untuk menghindari dekomposisi, cangkang telur dicuci dengan air keran, kemudian direbus dengan air distilasi, dan dikeringkan pada suhu 105 ⁰ C di <i>oven</i> selama 2 jam. Membran dilepaskan dari cangkang telur kemudian digiling secara terpisah dengan <i>blender</i> . Serbuk cangkang telur diayak untuk mendapatkan partikel dengan variasi ukuran. Penentuan konsentrasi larutan zat warna reaktif dilakukan dengan peralatan Spektrofotometer UV-1201 Shimadzu
Chumlong et al, 2007	Penjerapan logam Pb dari limbah baterai dengan cangkang telur	Cangkang telur ayam dan bebek biasa dan direbus masing-masing dicuci dengan air keran beberapa kali kemudian dikeringkan dan dipanaskan di <i>oven</i> pada suhu 40 ⁰ C

Nama, Tahun	Judul Penelitian	Proses Pembuatan Adsorben dan Karakterisasi
Nacera dan Aicha, 2007	Model kesetimbangan dan kinetika adsorpsi Fe dengan cangkang telur pada sistem <i>batch</i> : efek suhu	selama 30 menit (komponen protein dapat terdenaturasi pada suhu tinggi). Selanjutnya, digiling menjadi serbuk dengan <i>grinder</i> , dan diayak dengan 60-100 <i>mesh</i> (ukuran 0,25-0,104 mm). Karakterisasi komposisi kimia adsorben dengan menggunakan Peralatan <i>Xray Fluorescence Spectrometer</i> (XRF S4 Explorer) dan morfologi adsorben dengan SEM Hitachi S-2500
A.A. Bawa Putra dkk, 2008	Studi adsorpsi-desorpsi logam timbal (Pb) dalam larutan dengan cangkang telur ayam	Cangkang telur ayam dicuci dengan air keran selama beberapa kali, kemudian air edistilasi selama 3 kali. Selanjutnya, dikeringkan di oven pada suhu 70 ⁰ C. Cangkang telur yang telah kering kemudian disaring melewati ayakan <i>sieve</i> untuk mendapatkan ukuran 50-315 μm
S.E. Ghazy <i>et al</i> , 2008	Pemisahan kromium (III) dan kromium (VI) dari sampel air lingkungan dengan menggunakan adsorben cangkang telur	Cangkang telur dicuci dengan air dan dikeringkan selama 2 jam di oven pada suhu 125 ⁰ C, selanjutnya didinginkan sampai suhu ruangan, dihancurkan, diayak dengan ukuran 25-63 μm . Sampel tersebut disimpan ke dalam desikator. Karakterisasi komponen kimia menggunakan analisis <i>infrared</i> (Mattson 5000 FT-IR <i>spectrofotometer</i>). Selain itu, pengukuran konsentrasi menggunakan AAS dan Unicam UV 2100 UV-Vis
P. Pongtonglor <i>et al</i> , 2011	Utilisasi limbah cangkang telur sebagai adsorben humiditas	Membran dari cangkang telur ayam dan bebek dihilangkan dan dicuci dengan air istilasi untuk menghilangkan adhesi. Kemudian, dikeringkan dengan udara selama 2

Nama, Tahun	Judul Penelitian	Proses Pembuatan Adsorben dan Karakterisasi
		hari. Selanjutnya, digiling menjadi serbuk menggunakan mortar dan alu. Cangkang telur dipanaskan pada suhu 1300 ⁰ C selama 4 jam dengan laju 5 ⁰ C/menit. Karakterisasi menggunakan SEM (Leo 1455 VP) dengan kekuatan voltase 20 kV dan <i>X-Ray Diffractometer</i>
R. Bhaumik <i>et al</i> , 2011	Adsorben serbuk cangkang telur bebek dalam menjerap fluoride dari larutan : studi kesetimbangan, kinetika dan termodinamika	Cangkang telur dicuci dengan air distilasi selama dua kali. Kemudian, dikeringkan di oven pada 110 ⁰ C selama 12 jam. Selanjutnya, digiling dan diayak dengan ukuran 100, 150, 250, 300, 350 μm <i>mesh</i> . Karakterisasi adsorben menggunakan SEM <i>analyzer</i> HITACHI, S-530, SEM dan ELKO <i>Engineering</i>), IR <i>Spectrum</i> , dan FTIR [4].
I.M.Muhammad, 2012	Penjerapan <i>crude oil</i> dari air dengan menggunakan cangkang telur	Cangkang telur dihancurkan, dicuci dengan air selama beberapa kali dan dikeringkan. Selanjutnya, digiling, diayak dengan ayakan 212-63 μm dan dicuci dengan air distilasi. Kemudian, cangkang telur dikeringkan di <i>oven</i> pada suhu 70 ⁰ C selama 24 jam. Karakterisasi menggunakan FTIR, SEM, dan EDX .
Muhammad dkk, 2012	Adsorpsi komponen lignosulfonat dengan menggunakan serbuk cangkang telur	Membran dipisahkan dari cangkang telur ayam dengan tangan. Cangkang telur kemudian dicuci dengan air distilasi, dikeringkan, digiling menjadi serbuk dengan ukuran partikel 50, 100, 150 μm dan disimpan dalam desikator. Karakterisasinya dengan menggunakan SEM (JEM-2010, JEOL); <i>X-ray diffraction</i> (pengukuran dengan RINT 2000)

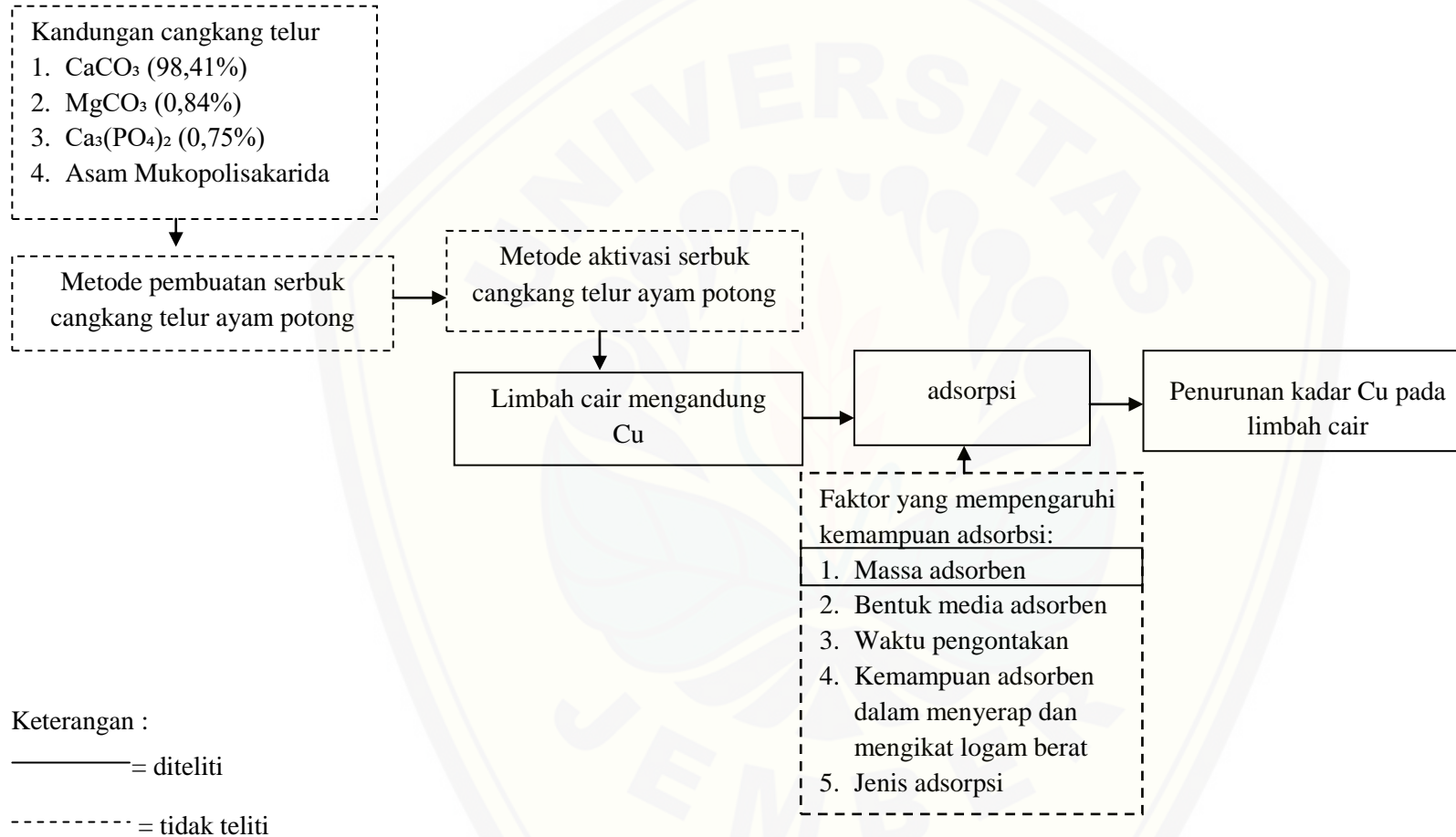
Sumber: *Jasinda* (2013:22)

2.11 Kerangka Teori



Gambar 2.1 Kerangka Teori
Kerangka teori diatas adalah modifikasi dari Jasinda (2013), dan Rahayu (2009)

2.12 Kerangka Konsep



Gambar 2.2 Kerangka Konsep

Berbagai aktivitas industri yang ada saat ini mengakibatkan banyaknya limbah yang dibuang ke lingkungan. Limbah tersebut utamanya adalah limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang berdampak pada kesehatan manusia (Hasrianti, 2012 dalam Imtisal, 2015 : 26). Penelitian ini mencoba menerapkan sebuah teknologi pengolahan pada limbah cair menggunakan metode adsorpsi dengan pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai media adsorben. Cangkang telur ayam potong yang dijadikan sebagai media adsorben dibuat menjadi serbuk kemudian dilakukan aktivasi secara termal dengan suhu 600 derajat celcius bertujuan untuk memperbesar pori dan permukaan zat. Menurut teori tumbukan, semakin besar permukaan zat yang bersentuhan dengan partikel lain, peluang terjadinya reaksi adsorpsi semakin banyak.

Proses adsorpsi oleh adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya bentuk media adsorben, konsentrasi adsorben, kadar metoksil pada adsorben, sifat adsorben dalam menyerap dan mengikat logam berat, dan jenis adsorpsi pada adsorben (Hariyati, 2006, Arivoli, 2009, Ngandayani, 2011, Setyawan, 2013). Adapun hasil akhir proses adsorpsi bahan pencemar ion Cu dari limbah cair dengan menggunakan serbuk cangkang telur yaitu untuk menurunkan kadar Cu pada limbah cair.

2.13 Hipotesis

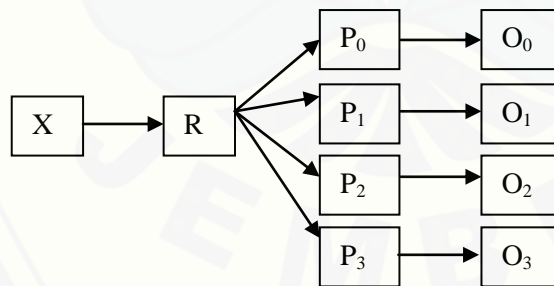
Terdapat perbedaan kadar Cu pada kelompok yang tidak diberi perlakuan penambahan massa serbuk cangkang telur ayam potong, kelompok yang diberi perlakuan penambahan massa cangkang telur ayam potong 20 gr/l, 25 gr/l, dan 30 gr/l (P_0 , P_1 , P_2 , dan P_3).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen, yaitu kegiatan percobaan (*experiment*), yang bertujuan untuk mengetahui suatu gejala atau pengaruh yang timbul, sebagai akibat dari adanya perlakuan tertentu. Ciri khusus dari penelitian eksperimen adalah adanya percobaan atau *trial*. Percobaan itu berupa perlakuan atau intervensi terhadap suatu variabel. Dari perlakuan tersebut diharapkan terjadi perubahan atau pengaruh terhadap variabel yang lain (Notoatmodjo, 2005:156).

Desain penelitian ini adalah *True Experimental Design* dengan bentuk *Posttest-Only Control Design*. Pengukuran perlakuan (intervensi) dilakukan dengan cara membandingkan kelompok yang diberi perlakuan dan tidak (Notoatmodjo, 2012: 60). Pada desain ini, terdapat empat kelompok yang masing-masing dipilih secara random (R), yaitu kelompok yang tidak diberi perlakuan disebut kelompok kontrol (P_0), kelompok yang diberi perlakuan serbuk cangkang telur ayam potong 20 g/l (P_1), kelompok yang diberi perlakuan serbuk cangkang telur ayam potong 25 g/l (P_2), dan kelompok yang diberi perlakuan serbuk cangkang telur ayam potong 30 g/l (P_3).



Gambar 3. 1 Rancangan Penelitian

Keterangan :

X : Populasi

O : Observasi

R : Random

P_0 : Limbah cair industri elektroplating yang tidak diberi perlakuan

- P_1 : Limbah cair industri elektroplating yang diberi serbuk cangkang telur ayam potong 20 g/l
- P_2 : Limbah cair industri elektroplating yang diberi serbuk cangkang telur ayam potong 25 g/l
- P_3 : Limbah cair industri elektroplating yang diberi serbuk cangkang telur ayam potong 30 g/l

Penentuan banyaknya pengulangan untuk setiap perlakuan yang akan dilakukan dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan rumus pengulangan untuk desain RAL (Rancangan Acak Lengkap) yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Hanafiah, 2005:12) :

$$(t-1)(r-1) \geq 15$$

$$(4-1)(r-1) \geq 15$$

$$3r - 3 \geq 15$$

$$3r \geq 18$$

$$r \geq 6$$

Keterangan :

t : perlakuan/ *treatment*, yaitu = 4

r : pengulangan/ replikasi

15 : faktor nilai derajat kebebasan

Diketahui nilai r adalah 6, artinya setiap perlakuan mendapat 6 kali pengulangan/replikasi. Sehingga jumlah sampel yang dibutuhkan dalam pengulangan/replikasi ditetapkan dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Total replikasi} &= r \times t \\ &= 6 \times 4 \\ &= 24 \end{aligned}$$

Jumlah pengulangan/replikasi dari empat perlakuan adalah 24 pengulangan/replikasi. Jadi, jumlah sampel pada penelitian ini adalah 24 sampel. Selanjutnya dibuat tabel dengan rumus $r \times t$ untuk menentukan RAL, sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Tata Letak RAL Penelitian

Kontrol (0 g/l)	Perlakuan 1 (20 gr/l)	Perlakuan 2 (25 gr/l)	Perlakuan 3 (30 gr/l)
P ₀ 1	P ₁ 1	P ₂ 1	P ₃ 1
P ₀ 2	P ₁ 2	P ₂ 2	P ₃ 2
P ₀ 3	P ₁ 3	P ₂ 3	P ₃ 3
P ₀ 4	P ₁ 4	P ₂ 4	P ₃ 4
P ₀ 5	P ₁ 5	P ₂ 5	P ₃ 5
P ₀ 6	P ₁ 6	P ₂ 6	P ₃ 6

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Pengambilan sampel limbah cair dilakukan di industri elektroplating X Kabupaten Jember, untuk pembuatan serbuk cangkang telur dan aktivasi termal dilakukan di laboratorium CDAST Universitas Jember, pengontakkan limbah cair dengan serbuk cangkang telur ayam potong di Laboratorium Biologi Farmasi Universitas Jember dan untuk pengukuran kadar Cu pada sampel dilakukan di UPT Laboratorium Kesehatan Daerah Jember

3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai selesai.

3.3 Objek dan Teknik Pengambilan Objek Penelitian

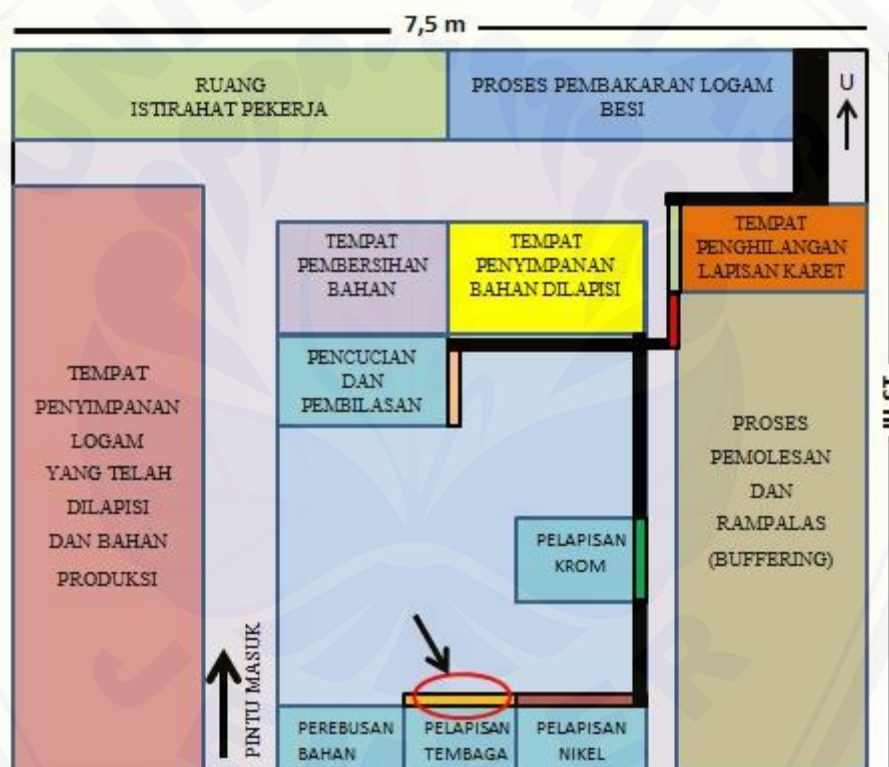
3.3.1 Objek Penelitian

Objek yang diambil dalam penelitian adalah limbah cair elektroplating yang mengandung Cu. Limbah cair dicampur dengan serbuk cangkang telur ayam potong teraktivasi sebagai media adsorben logam Cu. Jumlah air limbah sebanyak 24 liter. Serbuk cangkang telur ayam potong yang digunakan dalam penelitian merupakan serbuk yang telah mengalami aktivasi fisika secara termal dengan suhu 600 °C. Aktivasi fisika secara termal adalah aktivasi yang paling baik untuk aktivasi serbuk cangkang telur ayam (Jasinda dalam Fitriyana, 2015:12). Aktivasi secara termal ini bertujuan untuk memperbesar pori, luas permukaan bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi.

Variasi konsentrasi serbuk cangkang telur ayam potong yang digunakan dalam penelitian yakni sebanyak 20 gr/l, 25 gr/l, dan 30 gr/l (Ajeng et al., 2010) Setiap variasi konsentrasi serbuk cangkang telur ayam potong direndam pada limbah cair selama 90 menit (Agtia, 2016:38).

3.3.2 Teknik Pengambilan Objek Penelitian

Pengambilan objek diambil secara random pada tempat pembilas bahan dari proses elektroplating yaitu pada saat proses pelapisan tembaga. Air dari tempat pembilas yang akan dibuang melalui saluran pembuangan limbah menuju badan perairan.



Gambar 3. 2 Denah lokasi pengambilan sampel

3.4 Variabel dan Definisi Operasional

Variabel adalah suatu yang digunakan sebagai ciri, sifat, atau ukuran yang dimiliki atau didapatkan oleh satuan penelitian tentang suatu konsep penelitian tertentu. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar Cu pada limbah cair sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini yaitu penggunaan serbuk cangkang

telur ayam potong dengan variasi konsentrasi 20 g/l, 25 g/l dan 30 g/l. Definisi operasional variabel-variabel tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Variabel, Definisi Operasional, Skala Data, Cara Pengukuran, dan Satuan

Variabel	Definisi Operasional	Skala Data	Cara Pengukuran	Satuan
Kadar Cu	Jumlah logam berat Cu dalam air yang dinyatakan dengan satuan g/L	Rasio	Spektrofotometri	gr/l
Serbuk cangkang telur	Serbuk yang dihasilkan dari proses pengolahan cangkang telur menjadi serbuk setelah melewati proses aktivasi termal dengan suhu 600 °C. variasi konsentrasi serbuk yang digunakan adalah 20 gr/l, 25 gr/l dan 30 gr/l.	Rasio	Timbangan analitik	gr/l

3.5 Bahan Penelitian dan Instrumen Penelitian

3.5.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Botol air mineral sebanyak 24 botol
2. desikator
3. Gelas ukur
4. Neraca analitik
5. Corong *Buchner*
6. Ayakan 60 mesh
7. Alu
8. Alat tulis
9. Stopwatch
10. Aluminium foil
11. Jerigen
12. *furnace*
13. Gelas Beaker
14. AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*)

15. Kertas saring whatman 40, dengan ukuran pori θ 0.42 μm

16. Ember

3.5.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Serbuk cangkang telur
2. Limbah cair yang mengandung Cu

3.6 Prosedur Kerja

3.6.1 Proses Pembuatan Serbuk Cangkang Telur

Dalam pembuatan serbuk cangkang telur ayam potong dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

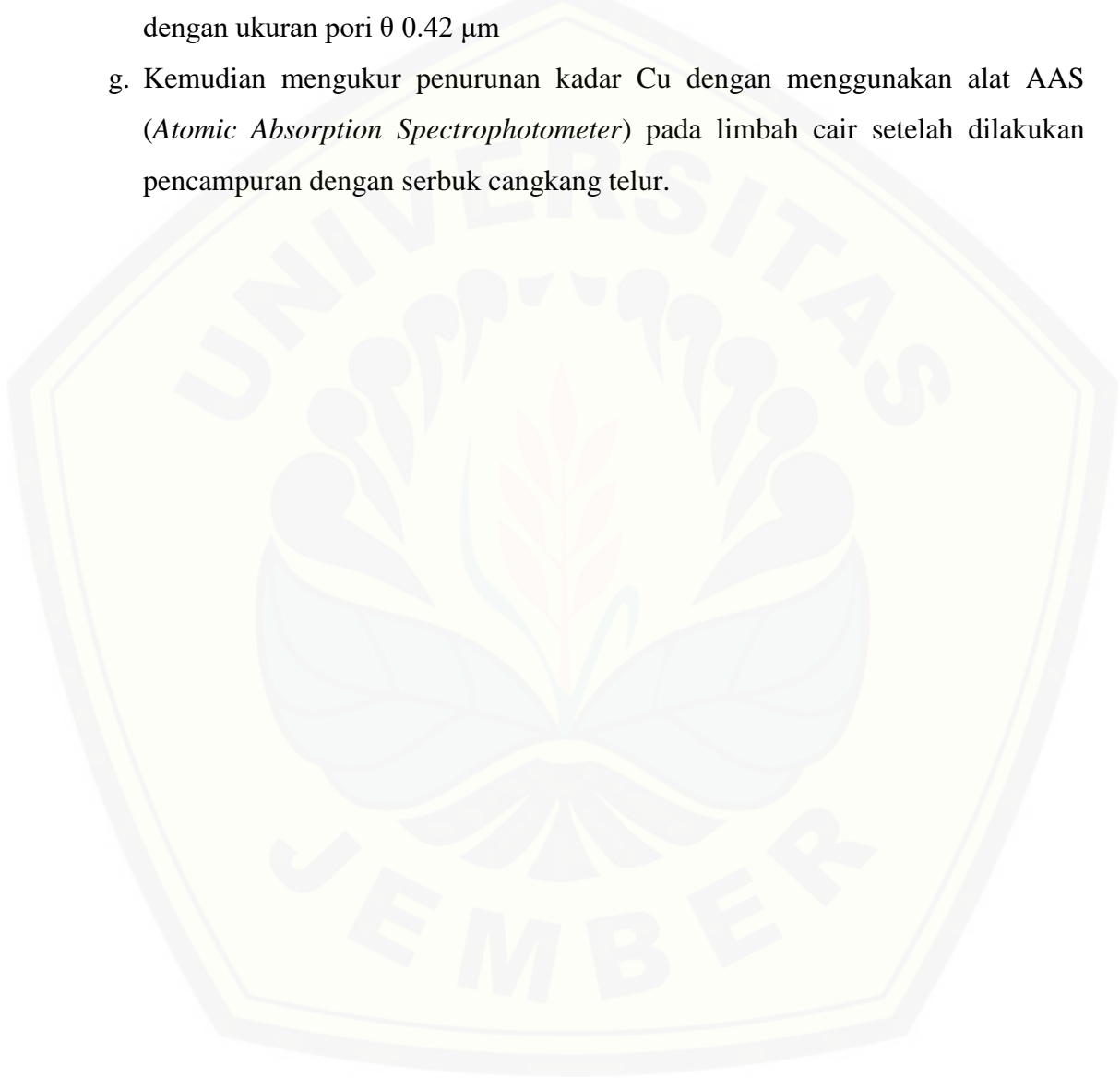
- a. Cangkang telur ayam potong dicuci bersih dan dihilangkan dari membran dan kotoran yang melekat pada cangkang telur
- b. Kemudian dihaluskan dengan menggunakan alu
- c. Bubuk cangkang telur kemudian diayak menggunakan ayakan 60 mesh
- d. Setelah diayak, Kemudian dilakukan aktivasi secara termal menggunakan alat *furnace* dengan suhu 600 °C selama 2 jam
- e. Setelah itu, hasil pemanasan dimasukan kedalam desikator lalu disimpan dalam aluminium foil.

3.6.2 Prosedur Perlakuan Serbuk Cangkang Telur terhadap Limbah Cair Cu

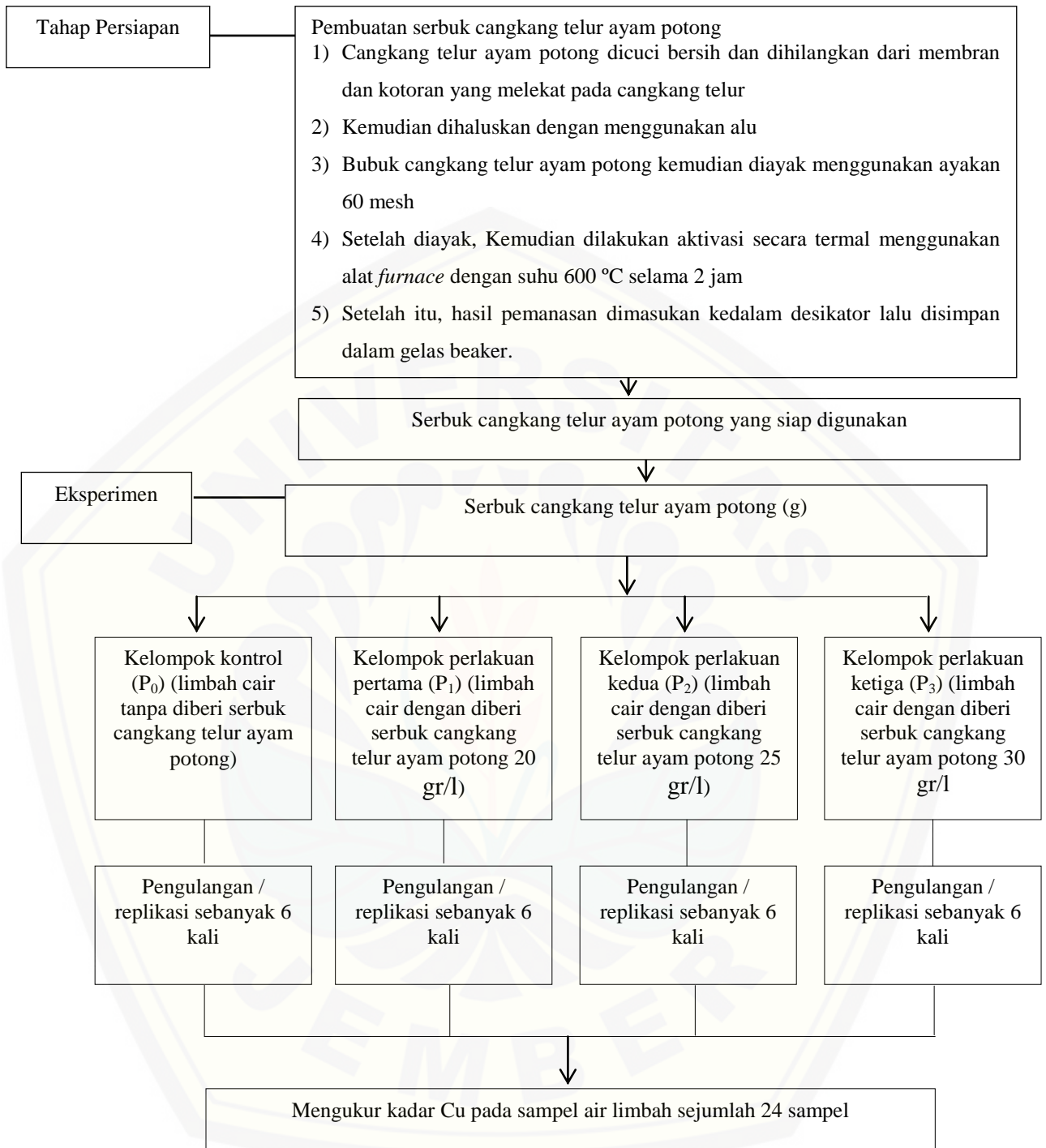
Prosedur penelitian untuk melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Pengambilan limbah cair elektroplating yang mengandung Cu sebanyak 24 liter, kemudian menghomogenkan limbah cair tersebut dengan mengaduk di dalam bak penampung.
- b. Setelah homogen limbah cair tersebut dituang ke dalam 24 botol masing-masing sebanyak 1 liter
- c. Serbuk cangkang telur dengan variasi kadar 20 g/l, 25 g/l, dan 30 g/l yang sebelumnya ditimbang dengan timbangan analitik kemudian dicampurkan ke dalam limbah cair yang mengandung Cu pada masing-masing kelompok sampel perlakuan.

- d. Melakukan pengocokan selama 5 kali pada sampel yang sudah dilakukan pencampuran
- e. Mendinginkan sampel dan mencatat waktu menggunakan stopwatch selama 90 menit,
- f. Melakukan pemisahan antara adsorben serbuk cangkang telur dengan air limbah Cu dengan cara disaring menggunakan kertas saring whatman 40, dengan ukuran pori θ 0.42 μm
- g. Kemudian mengukur penurunan kadar Cu dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) pada limbah cair setelah dilakukan pencampuran dengan serbuk cangkang telur.



3.8 Kerangka Operasional



Gambar 3. 3 Kerangka Operasional

3.9 Data dan Sumber Data

3.9.1 Data Primer

Data primer adalah data yang langsung diperoleh dari sumber data pertama di lokasi penelitian atau objek penelitian (Bungin, 2005:122). Data primer dalam penelitian ini berupa hasil pemeriksaan laboratorium kadar Cu pada limbah cair yang belum mendapat perlakuan dan yang sudah mendapat perlakuan penambahan serbuk cangkang telur ayam potong dengan variasi konsentrasi yang berbeda dalam masing-masing sampel.

3.9.2 Data sekunder

Data sekunder adalah data yang langsung diperoleh dari sumber data kedua atau sumber sekunder dari data yang kita butuhkan (Bungin, 2005:122). Data sekunder di peroleh dari Dinas Peternakan, Perikanan, dan Kelautan Kabupaten Jember tentang konsumsi hasil ternak di Kabupaten Jember dan studi kepustakaan sebagai penunjang penelitian ini.

3.10 Teknik dan Intrumen Pengumpulan Data

Data diperoleh dengan cara observasi yaitu suatu prosedur yang berencana, yang antara lain meliputi melihat, mendengar, dan mencatat sejumlah taraf aktivitas tertentu atau situasi tertentu yang ada hubungannya dengan masalah yang diteliti (Notoatmojo, 2012:131). Dalam penelitian ini, observasi dilakukan dengan melakukan pengukuran kadar tembaga (Cu) pada limbah cair elektroplating sebelum dan sesudah mendapat perlakuan penambahan serbuk cangkang telur ayam potong teraktivasi termal di laboratorium.

3.11 Teknik Penyajian dan Analisis Data

Teknik penyajian merupakan bagian dalam proses penelitian yang bertujuan untuk menginformasikan hasil penelitian. Teknik penyajian bertujuan untuk memudahkan pembaca dalam memahami informasi dalam penelitian (Hidayat, 2010: 175). Teknik penyajian data pada penelitian adalah dengan tabel dan grafik dimana menggunakan skala numerik.

Teknik analisis data penelitian menggunakan analisis deskriptif dan analitik. Analisis deskriptif menggambarkan hasil uji laboratorium. Data disajikan secara deskriptif dalam bentuk grafik. Uji statistik dilakukan untuk melihat perbedaan pemberian serbuk cangkang telur ayam potong terhadap penurunan kadar Cu pada limbah cair yang tidak diberi serbuk cangkang telur ayam potong dengan limbah cair yang diberi serbuk cangkang telur ayam potong. Uji statistik dilakukan dengan menggunakan uji anova satu arah (*one way anova*). Uji *one way anova* merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui beda lebih dari dua rata-rata dan mengetahui variabel mana saja yang berbeda dengan lainnya. Uji *one way anova* digunakan jika data berdistribusi normal, skala data interval rasio, varians populasi sama, dan sampel tidak berhubungan satu sama lain (Santoso, 2005: 311). SPSS digunakan untuk menguji *one way anova* dengan interval kepercayaan 95% untuk melihat perbedaan masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikat.

Adapun langkah-langkah dalam prosedur uji *One Way Anova* adalah:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas menggunakan Kolmogorov Smirnov. Hipotesis yang digunakan dalam uji normalitas adalah:

Jika signifikansi $< 0,05$, maka distribusi adalah tidak normal

Jika signifikansi $> 0,05$, maka distribusi adalah normal (Santoso, 2005: 211).

2. Tes Homogenitas Varians

Asumsi dasar dari analisis Anova adalah seluruh kelompok penelitian harus memiliki varian yang sama. Hipotesis yang digunakan dalam tes homogenitas varian adalah:

Jika signifikansi $< 0,05$, maka data berasal dari populasi-populasi yang memiliki varians tidak sama.

Jika signifikansi $> 0,05$, maka data berasal dari populasi-populasi yang memiliki varians sama (Santoso, 2005: 212).

2. Uji F

Uji analitik yang digunakan untuk menguji hipotesis bahwa semua kelompok mempunyai *mean* populasi yang sama atau tidak adalah uji F. Harga F diperoleh dari rata-rata kuadrat (*mean square*) antar kelompok (*between groups*) dibagi dengan rata-rata kuadrat dalam kelompok (*within groups*).

Hipotesis yang digunakan dalam uji F adalah:

H₀ : Keempat rata-rata populasi adalah identik

H₁ : Keempat rata-rata populasi adalah tidak identik

Dasar dari pengambilan keputusan adalah:

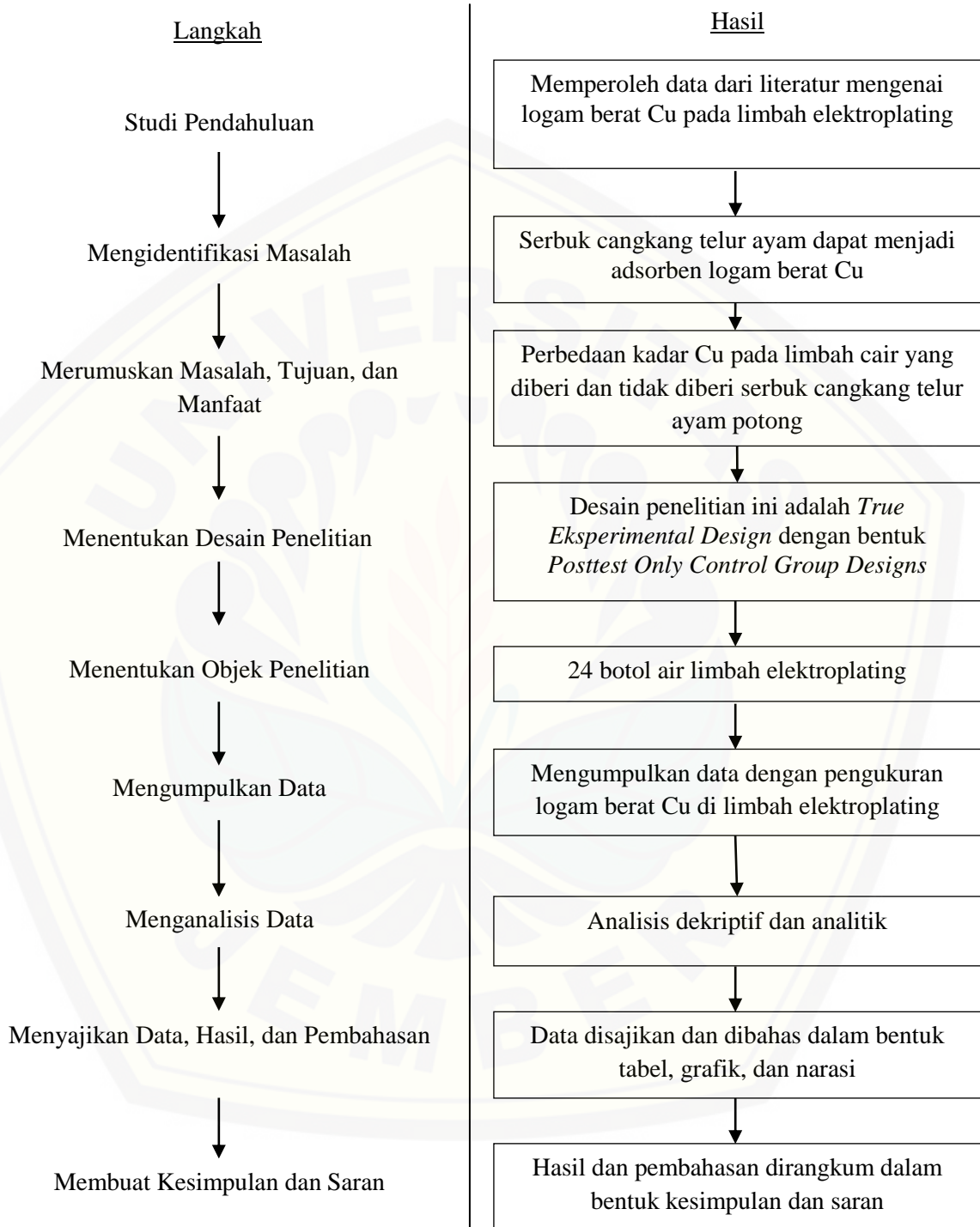
Jika probabilitas $< 0,05$, maka H₀ ditolak

Jika probabilitas $> 0,05$, maka H₀ diterima (Sutanta, 2005: 192).

3. Tes Post Hoc (Post Hoc Test)

Test Post Hoc digunakan untuk mengetahui lebih lanjut perbedaan yang terjadi antar kelompok dengan menggunakan fungsi Tukey. Uji Post Hoc menggunakan Tukey digunakan karena jumlah subjek penelitian masing masing kelompok sama. Hasil uji signifikansi dengan mudah bisa dilihat pada output dengan ada atau tidaknya tanda petik atas pada kolom mean difference (Dahlan, 2011: 17).

3.12 Alur Penelitian



Gambar 3. 4 Alur Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai “Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal” diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Rerata kadar Cu pada kelompok kontrol, P₁, P₂ dan P₃ berturut-turut adalah 0,91 mg/l; 0,67 mg/l; 0,49 mg/l; 0,28 mg/l. Penurunan kadar Cu pada kelompok perlakuan penambahan serbuk cangkang telur ayam potong sebesar 20 gr/l (P₁), 25 gr/l (P₂), dan 30 gr/l (P₃) berturut-turut yaitu 26,37%, 46,15% dan 69,23%. Konsentrasi massa serbuk cangkang telur ayam yang paling tinggi dalam menurunkan kadar Cu adalah kelompok penambahan serbuk cangkang telur ayam potong sebesar 30 gr/l.
- b. Terdapat perbedaan penurunan kadar Cu yang signifikan antara kelompok kontrol (P₀) dan kelompok perlakuan penambahan massa serbuk cangkang telur ayam potong (P = 0,003; P = 0,000; P = 0,000).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan tersebut disarankan sebagai berikut:

- a. Bagi Dinas Lingkungan Hidup, perlu dilakukan pemantauan limbah cair industri elektroplating X secara berkala setiap 3 bulan sekali untuk mengetahui kualitas limbah cair elektroplating X sehingga mampu mengontrol pencemaran yang diakibatkan oleh limbah cair elektroplating.
- b. Bagi pemilik industri elektroplating X dapat menggunakan serbuk cangkang telur ayam potong teraktivasi sebanyak 30 g/l untuk dijadikan alternatif media pengolahan limbah cair industri elektroplating yang dihasilkan terutama untuk menurunkan kandungan Cu.
- c. Bagi penelitian selanjutnya perlu adanya kontrol variabel lainnya, yaitu konsentrasi adsorbat, tegangan permukaan, dan waktu pengadukan sehingga diperoleh kondisi adsorpsi yang optimum untuk mendapatkan serapan yang

optimum terhadap logam berat dan perlu diuji coba regenerasi adsorben cangkang telur ayam potong agar bisa dilakukan *reuse* adsorben.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (Tanpa Tahun). *Toko Roti di Kabupaten Jember*.
<https://bukutelepon.cybo.com/ID/kabupaten-jember/toko-roti/?p=10>
- Achmad, 2004. *Kimia Lingkungan*. ANDI: Yogyakarta
- Anugrah S, A. dan Iriany. 2015. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Bulu sebagai Adsorben untuk Menyerap Logam Kadmium (II) dan Timbal (II). *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 4(3) : 40-45
- Apriliani, A. 2010. "Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jakarta: Program Sarjana Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. [serial on line].
<http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/2852/1/ADE%20APRILIANI.pdf>
- Asip, F., Mardhiah, R., dan Husna, 2008. Uji Efektivitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, Volume 15 (2), pp. 2226.
- Apsari, Ajeng., Fitriasti, Dina. 2010. "Studi Kinetika Penjerapan Ion Khromium dan Ion Tembaga Menggunakan Kitosan Produk dari Cangkang Kepiting". *Skripsi*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Atika, D., Fitriani, A., Pramita, D. 2014. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam sebagai Pengadsorpsi Logam Merkuri di Sungai Kapuas Kalimantan Barat. Pontianak: Universitas Tanjung Pura.
- Boricha, A. 2008. Preparation, Characterization and Performance of Nanofiltration Membranes for The Treatment of Electroplating Industry Effluent. *Journal of Separation and Purification Technology*, P.8
- Bungin, B. 2005. *Metodologi Penelitian Kuantitatif Komunikasi, Ekonomi, dan Kebijakan Publik serta Ilmu-Ilmu Sosial Lainnya*. Jakarta : Prenada Media.
- Chumlong, A., Wanvisa, K., Acharaporn, K., Prayad, P., Patra, P. 2007. Removal of Lead from Battery Manufacturing Wastewater by Eggshell. *Songklanakarin Journal Science Technology*. 29(3) : hal 857-868.

- Connel, D. W. dan Miller, G. J. 1995. *Kimia dan Otoksikologi Pencemaran. Cetakan Pertama*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Dahlan, M. 2011. *Statistik untuk Kedokteran dan Kesehatan*. Jakarta: Salemba Medika.
- Darsyah, M. (2014). Penggunaan Stem and Leaf dan Boxplot untuk Analisis Data. *JKPM*. [serial on line]. <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JPMat/article/view/1045/1093>
- Dinas Peternakan, Perikanan dan Kelautan Kabupaten Jember. 2015. *Konsumsi Hasil Ternak di Kabupaten Jember*. Jember: Dinas Peternakan, Perikanan dan Kelautan Kabupaten Jember
- Elliott, H.A, Liberati, M.R, and Huang, C.P. 1986. *Jurnal Environ. Qual.* 15,3, 214-219.
- Fitriyana., Safitri, E. 2015. Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Untuk Meningkatkan Kualitas Minyak Jelantah. *Jurnal*, volume 4 no.1
- Hajar, E., Sitorus, R., Mulianingtias, N., Welan, F. 2016. Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ Dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Jurnal*. Volume 5 (1). <http://ppjp.unlam.ac.id/journal/index.php/konversi/article/view/1077> (diakses pada tanggal 2 November 2016)
- Hajeeth, T., Vijayalakshmi, K., Gomathi, T., Sudha, P., & Anbalagan, S. 2013. Adsorption of Copper(II) and Nickel(II) Ions from Aqueous Solution Using Graft Copolymer of Cellulose Extracted from the Sisal Fiber with Acrylic Acid Monomer. *Composite Interface*, 21 (1): 75-86. [serial on line]. <http://dx.doi.org/10.1080/15685543.2013.832072> (Desember 2, 2016).
- Hanifiah, K.A. 2005. *Rancangan Percobaan Aplikatif*. Jakarta: Demedia Pustaka.
- Hapsari, A. 2016. Penurunan Kadar Ion Tembaga dalam Air Menggunakan Serbuk Cangkang Darah (Anadara granosa). Dipublikasikan. *Skripsi*. Semarang : Jurusan Analisis Kesehatan Universitas Muhammadiyah Semarang.

- Hasrianti. 2013. Adsorpsi Ion Cd^{2+} Pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong. Jurusan Kimia, Universitas Cokroaminoto Palopo. *Jurnal* Volume 04(2). Halaman 59-76.
- Helmenstine, A.M. 2013. *Electroplating: Introducton to Electroplating*. [serial online]. <http://chemistry.about.com/od/electrochemistry/a/elektroplating.htm>
- Imtisal, H. 2014. "Pemanfaatan Serbuk Pektin Kulit Kakao Sebagai Media Adsorben Logam Berat Pb pada Limbah Cair Industri Elektroplating". Tidak Dipublikasikan. Skripsi. Jember: Program Sarjana Universitas Jember.
- Indrawati, L. 2009. Aktivasi Abu Layang Batubara dan Aplikasinya pada Proses Adsorpsi Ion Logam Cr dalam Limbah Elektroplating. *Tugas Akhir*, Jurusan Kimia, Universitas Negeri Semarang.
- Irwanto.2014. Studi Pemanfaatan Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) dari Serbuk Cangkang Telur sebagai Adsorben Terhadap Ion Raksa (Hg^{2+}) . Skripsi. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara
- Istiyono, E. 2008. *Pengelolaan limbah industri penyepuhan logam perak (elektroplating) dilingkungan pengrajin perak, di kecamatan Yogyakarta*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- Jamila. 2014. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur. *Modul Mata Kuliah Teknologi Pengolahan Limbah dan Sisa Hasil Ternak*, Program Studi Peternakan, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Jasinda. 2013. Penjerapan Logam Kadmium (Cd^{2+}) Dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek Yang Telah Diaktivasi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 2, No. 3
- Khaeruddin, Jauhar., Cathaputra, Edo., Winoto, Haryo. 2010. Produksi Isopropil Alkohol Murni untuk Aditif Bensin yang Ramah Lingkungan sebagai Wujud Pemanfaatan Produk Samping pada Industri Gas Alam. *Jurnal*, Institut Teknologi Bandung, Bandung. 18-22
- Kurniasari, L., Riwayati, I., Suwardiyono. 2012. Pektin sebagai Alternatif Bahan Baku Biosorben Logam Berat. *Jurnal Teknik Kimia*, Universitas Wahid Hasyim, Semarang. Vol.8(1): 1-5.

- Kwartaningsih, E., Anita, N., & Pungky, T. (2010). Transfer Massa pada Adsorpsi Logam Chrom dari Limbah Elektroplating Menggunakan Enceng Gondok sebagai Adsorben. *Ekuilibrium*, 9(1), 35-40.
- Mauna, R. 2015. Kandungan Kromium (Cr) pada Limbah Cair dan Air Sungai serta Keluhan Kesehatan Masyarakat di Sekitar Industri Elektroplating. Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jember: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.
- Meunier, N., Jerome, L., Jean-Francois, B., & Tyagi, R. 2003. Cocoa Shells for Heavy Metal Removal From Acidic Solutions. *Bioresource Technology* (90): 255-263. [serial on line]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852403001299>.
- Mufrodi. 2008. Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Jurnal Teknik Kimia*, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta.
- Nasution, J., Iriany. 2015. Pembuatan Adsorben Dari Cangkang Kerang Bulu yang Diaktivasi Secara Termal Sebagai Pengadsorpsi Fenol. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 4, No. 4.
- Ngandayani, Dwi. 2011. Pengaruh Konsentrasi Adsorbat, Temperatur, dan Tegangan Permukaan pada Proses Adsorpsi Gliserol oleh Karbon Aktif. *Skripsi: Universitas Sebelas Maret*. <https://eprints.uns.ac.id/8983/1/205331111201107161.pdf>
- Notoatmojo, S. 2005. *Metodeologi Penelitian Kesehatan*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Nurchayadi, Heru. 2010. Analisis Regresi pada Data Outlier dengan Menggunakan Least Trimmed Square (LTS) dan MM-Estimasi. Tidak Dipublikasikan. *Skripsi* : Program Sarjana Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta
- Peraturan Gubernur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya. Jawa Timur*. <http://www.airlimbah.com/wp-content/uploads/2015/09/PERGUBJATIM-72-2013.pdf>

- Prasidha, I. D. N. W., 2012. Adsorpsi Logam Berat pada Limbah Industri Elektroplating menggunakan Kulit Telur. *Skripsi*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim, Jawa Timur
- Purwanto. 2009. *Penerapan Teknologi Produksi Bersih untuk Meningkatkan Efisiensi dan Mencegah Pencemaran Industri*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Putro, Agung., Ardhiyany, Sherviena.2010. Proses Pengambilan Kembali Bioetanol Hasil Fermentasi dengan Metode Adsorpsi Hidrophobik. *Skripsi*, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, hal 17-19.
- Rahayu, S. S. 2009. *Proses Elektroplating Tembaga-Nikel-Khrom*. www.chemistry.org [serial online]. http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-industri/utilitas-pabrik/proses-elektroplating-tembaga-nikel-khrom/
- Rochayatun, E. & Rozak, A. 2007 .Pemantauan Kadar Logam Berat Dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Makara Sains*, (Online), 11 (1): 28-3
- Sadewo, S. 2010. "Studi Kemampuan Adsorpsi Biomassa Kulit Singkong terhadap Ion Logam Pb, Cd, dan Cu". Tidak Dibublikasikan. *Skripsi*. Bandar Lampung: Program Sarjana Universitas Lampung. [serial on line].
- Santoso, S. 2005. *Menguasai Statistik di Era Informasi dengan SPSS 12*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Sciban., Marina., Bogdanka. 2006. Adsorption of Heavy Metals From Electroplating wastewater by Wood Sawdust. *Journal of Bioresource Technology*. P.402-409
- Sharma, Y.C. dan Weng, C.H. 2007. Removal of Chromium(VI) from Aqueous Solution by Activated Carbons: Kinetic and Equilibrium Studies. *Journal of Hazardous Materials*: 142, hal. 449–454
- Shinta Indah, Rohaniah. 2014. Studi Regenerasi Adsorben Kulit Jagung (*Zea mays L.*) untuk Menyisihkan Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dari Air Tanah. *Skripsi*, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

- Siah, C. H. 2009. Fundamentals Studies of Electro-silver Pating Process Malaysia: Proceedings of the 18th Symposium of Malaysia Chemical Engineers. *Journal*. University Sains Malaysia, School of Chemical Engineering School of Mechanical Engineering, School of Material & Mineral Resource Engineering. <http://eprints.usm.my/8179/>.
- Siti Mujizah. "Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Kelor (*Moringa oleifera*. Lamk) dengan NaCl sebagai Bahan Pengaktif." Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, 2010, hal 30-32.
- SNI 06-6989.8-2004. *tentang Air dan Air Limbah-Bagian 8: Cara Uji Timbal (Pb) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)- Nyala*
- Solikah, Siti & Budi Utami. 2014. Perbedaan Penggunaan Adsorben dari Zeolit Alam Teraktivasi dan Zeolit Terimmobilisasi Dithizon untuk Penyerapan Ion Logam Berat (Cu^{2+}). Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VI. Surakarta : UNS. <http://snkpk.fkip.uns.ac.id/wp-content/uploads/2015/03/PENGARUH-PENGGUNAAN-ADSORBEN-DARI-ZEOLIT-ALAM-TERRIMOBILISASI-DITHIZON-UNTUK-PENYERAPAN-ION-TEMBAGA-Cu2-1.pdf>
- Sugiyono, 2009. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta
- Sugiyono, 2012. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta
- Sumada, K. 2006. Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Elektroplating yang Efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 1 (1): 26-36
- Sutanta, E. 2005. *Statistik & Probabilitas: Teori & Praktek Komputer*. Yogyakarta: Amus Yogyakarta.
- Suteu, D., Biliuta, G., Rusu, L., Coseri, S., & Nacu, G. 2015. Cellulose Cellets as New Type of Adsorbent for The Removal of Dyes from Aqueous Media. *Journal Environmental Engineering and Management*, 14(3): 525-532. [serial on line]. http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/vol14/no3/full/4_998_Suteu_14.pdf (November 13, 2016).
- Syam. 2014. Pengaruh Serbuk Cangkang Telur Ayam terhadap Tinggi Tanaman Kamboja Jepang (*Adenium obesum*). *Jurnal*. Jurusan Pendidikan Biologi, Universitas Tadulako. Vol 3:9-15.

Tandigau, S., Nafie, N., & Budi, P. 2015. "Biosorpsi Ion Ni(II) oleh Kulit Buah Kopi Arabika (*Coffea arabica*)". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Makasar: Progam Sarjana Universitas Hasanuddin. [serial on line]. <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/16647>

Tsai, W. T., Hsien, K. J., Hsu, H. C., Lin, C. M., Lin, K. Y., & Chiu, C. H, 2007. Utilization of ground eggshell waste as an adsorbent for the removal of dyes from aqueous solution. *Biosource Technology* 99, 1623–1629.

Walfe, D. 1984. *Chemistry Introduce to College*. USA: MC. Graw Hill Book Compars.

Widowati. W., Sastiono, A., Jusuf R. R. 2008. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta: Penerbit Andi

Ziad Tark, Ibrahim, Madhloom. 2016. Eggshell Powder as An Adsorbent for Removal of Cu (II) and Cd (II) from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. Al-Nahrain University, *College of Engineering Journal (NUCEJ)* Vol.91 No.2, 6192 pp.186 – 193

LAMPIRAN B. Hasil uji statistik Anova

1. Uji Normalitas Kelompok Kontrol P_0

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		KONTROL
N		6
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,9083
	Std. Deviation	,06555
	Absolute	,116
Most Extreme Differences	Positive	,100
	Negative	-,116
Kolmogorov-Smirnov Z		,284
Asymp. Sig. (2-tailed)		1,000

a. Test distribution is Normal.

2. Uji Normalitas Kelompok P_1

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		P1
N		6
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,6667
	Std. Deviation	,09933
	Absolute	,272
Most Extreme Differences	Positive	,272
	Negative	-,206
Kolmogorov-Smirnov Z		,667
Asymp. Sig. (2-tailed)		,764

a. Test distribution is Normal.

3. Uji Normalitas Kelompok P_2

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		P2
N		6
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,4950
	Std. Deviation	,09418

	Absolute	,255
Most Extreme Differences	Positive	,255
	Negative	-,177
Kolmogorov-Smirnov Z		,625
Asymp. Sig. (2-tailed)		,830

a. Test distribution is Normal.

4. Uji Normalitas Kelompok P₃

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		P3
N		6
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,2800
	Std. Deviation	,13594
Most Extreme Differences	Absolute	,143
	Positive	,143
	Negative	-,124
Kolmogorov-Smirnov Z		,351
Asymp. Sig. (2-tailed)		1,000

a. Test distribution is Normal.

5. Tes Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,540	3	20	,235

6. Uji Anova

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,274	3	,425	40,915	,000
Within Groups	,208	20	,010		
Total	1,481	23			

7. Uji Post Hoc

Multiple Comparisons

Tukey HSD

(I) PERLAKUAN	(J) PERLAKUAN	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
KONTROL	P1	,24167 [*]	,05882	,003	,0770
	P2	,41333 [*]	,05882	,000	,2487
	P3	,62833 [*]	,05882	,000	,4637
P1	KONTROL	-,24167 [*]	,05882	,003	-,4063
	P2	,17167 [*]	,05882	,039	,0070
	P3	,38667 [*]	,05882	,000	,2220
P2	KONTROL	-,41333 [*]	,05882	,000	-,5780
	P1	-,17167 [*]	,05882	,039	-,3363
	P3	,21500 [*]	,05882	,008	,0504
P3	KONTROL	-,62833 [*]	,05882	,000	-,7930
	P1	-,38667 [*]	,05882	,000	-,5513
	P2	-,21500 [*]	,05882	,008	-,3796

LAMPIRAN C. Dokumentasi kegiatan

PERSIAPAN



Gambar 1. Cangkang telur yang diperoleh dari penjual makanan



Gambar 2. Pencucian cangkang telur, penghilangan membran dan penjemuran



Gambar 3. Pembuatan serbuk cangkang telur dengan menggunakan alu



Gambar 4. Serbuk cangkang telur yang belum teraktivasi



Gambar 5. Proses aktivasi suhu 600°C dengan *Furnace*



Gambar 6. Hasil aktivasi, warna serbuk menjadi abu kehitaman

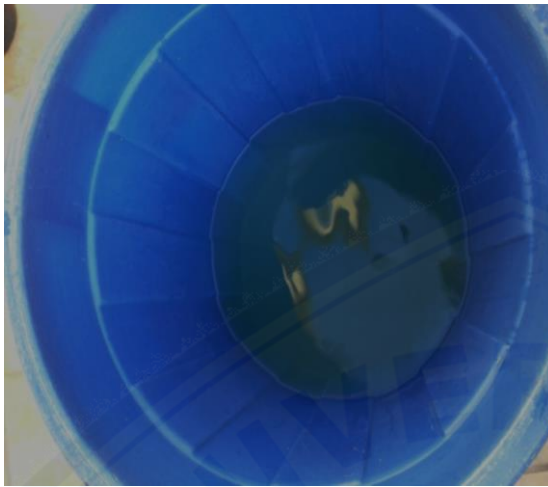


Gambar 7. Penyaringan serbuk dengan ukuran 60 mesh



Gambar 8. Menimbang massa serbuk masing-masing sebesar 20 gr, 25 gr, dan 30 gr.

EKSPERIMEN



Gambar 9. Menghomogenkan limbah elektroplating



Gambar 10. Mengontakkan serbuk cangkang telur dengan limbah elektroplating selama 90 menit



Gambar 11. Menyaring serbuk cangkang telur dengan kertas whatman 40 dari limbah elektroplating



Gambar 12. Pengiriman ke laboratorium