

TUGAS AKHIR

STUDI KOMPARATIF EFEKTIVITAS PENYISIHAN ION LOGAM

KROMIUM (Cr) OLEH ADSORBEN *FLY ASH* BATU BARA

DAN BULU AYAM



SYIFFAH RIZKY

D121 15 313

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

JL. POROS MALINO, KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : **Studi Komparatif Efektivitas Penyisihan Ion Logam Kromium (Cr) Oleh Adsorben Fly Ash Batu Bara Dan Bulu Ayam .**

Disusun Oleh :

Nama : Syiffah Rizky

D121 15 313

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 21 Januari 2020

Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc.
NIDK : 8827760018

Pembimbing II

Nurjannah Oktorina, S.T., M.T.
NIDK. 8883201019

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atash rahmat, hidayah dan izin-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul : *Studi Komparatif Efektivitas Penyisihan Ion Logam Kromium (Cr) Oleh Adsorben Fly Ash Batu Bara dan Bulu Ayam*. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada junjungan kita, Rasulullah SAW, yang telah mengantar umat manusia menuju masa yang terang benderang.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang Strata-I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari banyak kesulitan yang dihadapi selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan bimbingan, nasehat dan doa dari segala pihak, membuat penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada kedua orang tua penulis yakni Daddy Zamrin La Wadu dan Ibunda tersayang, Sunartining Tyas Asri Datin yang telah memberikan kasih sayang, dukungan dan sebagainya yang tidak bisa penulis ungkapkan semuanya. Terima kasih pula untuk saudara-saudaraku, Andi Putrawijaya dan Ludya Primindasari yang selalu mendukung dan memberi bantuan finansial, serta Nidya Pridahita yang tidak pernah lupa untuk mendoakan penulis dan memberikan semangat selama pengerjaan kuliah hingga pengerjaan tugas akhir ini.

Pada kesempatan kali ini pula, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M., selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Ir. Arsyad Thaha, M.T., Prof. Baharuddin Hamzah, ST., MT., M.Arch selaku Dekan dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Ibu Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, MSc, selaku pembimbing I yang selalu memotivasi, mendukung dan memperhatikan perkembangan penulis selama penyelesaian tugas akhir.
4. Ibu Nurjannah Oktarina, S.T., M.T., selaku pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, membimbing dan memperhatikan perkembangan penulis selama penyelesaian tugas akhir.
5. Bapak Dr. Ir. Achmad Zubair, M.Sc, selaku kepala Laboratorium Kualitas Air dan penguji yang senantiasa memberi masukan dan kritikan terkait penelitian yang penulis lakukan.
6. Ibu Roslinda Ibrahim, S.P., M.T., selaku dosen penguji yang memberi masukan dan perbaikan terkait penelitian yang penulis lakukan.
7. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Lingkungan dan Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan masukan terhadap tugas akhir ini.
8. Pak Syarif selaku laboran Laboratorium Kualitas Air dan Kak Kautsar yang membantu penulis selama penelitian yang dilakukan di laboratorium.
9. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin terkhusus Bu Sumi dan Kak Olan yang telah banyak bersabar dan membantu penulis dalam proses administrasi.
10. Saaludin Tarawungi, yang selalu mendukung dan memotivasi serta memfasilitasi penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
11. Andi Devy Muthia Oja, S.T., yang selalu menanyakan perkembangan tugas akhir dan mendukung penulis untuk cepat menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Tsary Adhlia Bowasis Umar, S.T., yang selalu bisa diandalkan saat penulis membutuhkan bantuan pemikiran dan makanan.
13. Andi Amir dan Muhammad Aji Pangestu, S.T., yang bersedia memberikan tumpangan kepada penulis untuk pergi dan pulang kampus.
14. Muhammad A'raaf Nursyawal dan Wiki Septian Saipul, yang selalu menjadi teman dalam mendukung dan bertukar pikiran terkait penelitian yang penulis lakukan.

15. Reskianingsih Sampe Buntu, teman seperjuangan dalam mengejar dosen pembimbing, seminar hasil dan ujian tutup.
16. Rizki Setiawati, Marni La Husin, Waode Nurul Afiah, Wika Harmawati, Asrifah dan Sri Ayu Lestari, yang senantiasa membantu penelitian dan penulisan tugas akhir.
17. Teman-teman Teknik Lingkungan 2015, yang sama-sama berjuang dari awal hingga akhir.

Serta kepada seluruh pihak yang membantu selama penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan kalian. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan dari tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberi manfaat untuk perkembangan dalam bidang ilmu pengetahuan.

STUDI KOMPARATIF EFEKTIVITAS PENYISIHAN ION LOGAM
KROMIUM (Cr) OLEH ADSORBEN FLY ASH BATU BARA
DAN BULU AYAM

Syiffah Rizky⁽¹⁾, Mary Selintung⁽²⁾, Nurjannah Oktorina⁽³⁾

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino KM. 6, Bontomarannu (92172) Gowa, Sulawesi Selatan
Telp. (0411)58660115 Fax (0411)5866015
Email: syiffahr@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri di Indonesia semakin meningkat setiap tahun. Hal ini mendorong peningkatan kegiatan pembangunan dalam menunjang kebutuhan masyarakat yang mengakibatkan adanya limbah yang dihasilkan oleh setiap kegiatan industri. Salah satu limbah berbahaya yang dihasilkan dapat merusak ekosistem badan air adalah logam berat kromium (Cr). Logam ini banyak digunakan dalam industri pelapisan logam, penyamakan kulit, industri cat dan industri tekstil. Ion logam Cr dalam perairan bersifat karsinogenik sehingga sangat berbahaya bagi kesehatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas dari adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam dapat digunakan untuk menurunkan kadar ion logam Cr, mengetahui kapasitas adsorpsinya dan mengetahui pengaruh variasi aktivator, massa adsorben dan waktu kontak terhadap konsentrasi logam Cr yang terserap. Variasi aktivator dilakukan dengan larutan NaOH 1 M dan HCl 1 M, variasi massa adsorben dengan massa 1, 2, 3, 4 dan 5 gram, sedangkan variasi waktu kontak dilakukan selama 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Setiap variasi dilakukan dengan larutan logam Cr berkonsentrasi 100 ppm dengan volume 100 ml.

Hasil penelitian diperoleh biomassa *fly ash* batu bara mampu menurunkan kadar logam Cr pada larutan mencapai 88,70% dengan kondisi optimum aktivator NaOH, massa adsorben 2 gram dan waktu kontak 10 menit. Sedangkan biomassa bulu ayam mampu menurunkan kadar logam Cr pada larutan mencapai 91,60% dengan kondisi optimum aktivator NaOH, massa adsorben 3 gram dan waktu kontak 10 menit.

Kata kunci: Logam Cr, Adsorben, *fly ash* batu bara, bulu ayam

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF CHROMIUM
METAL ION ELIMINATIONS USING BRICK FLY ASH
AND CHICKEN FEATHERS

Syiffah Rizky⁽¹⁾, Mary Selintung⁽²⁾, Nurjannah Oktorina⁽³⁾

Environmental Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Hasanuddin
Jl. Poros Malino KM. 6, Bontomarannu (92172) Gowa, South Sulawesi
Telp. (0411)58660115 Fax (0411)5866015
Email: syiffahr@gmail.com

ABSTRACT

Population growth and industrial development in Indonesian are increasing every year. This encourages an increase in development activities to support the needs of the community resulting in waste generated by each industrial activity. One of the dangerous wastes produced can damage the ecosystem of water bodies is heavy metal chromium (Cr). This metal is widely used in the metal coating, leather tanning, paint industry and textile industries. Cr metal ions in water are carcinogenic so they are very dangerous for health.

This study aims to determine the level of effectiveness of coal fly ash adsorbents and chicken feathers can be used to reduce levels of Cr metal ions, determine the adsorption capacity and determine the effect of variations in activator, adsorbent mass and contact time on the concentration of absorbed Cr metal. The activator variation was carried out with 1 M NaOH solution and 1 M HCl, the adsorbent mass variation with mass 1, 2, 3, 4 and 5 grams, while the variation of contact time was carried out for 10, 20, 30, 40 and 50 minutes. Each variation was carried out with a 100 ppm concentration of Cr metal solution with a volume of 100 ml.

The results showed that coal fly ash biomass was able to reduce levels of Cr metal in the solution reaching 88,70% with optimum conditions of NaOH activator, 2 gram of adsorbent mass and 10 minutes of contact time. While chicken feather biomass is able to reduce levels of Cr metal in the solution reaches 91,60% with optimum conditions of NaOH activator, 3 grams of adsorbent mass and 10 minutes of contact time.

Keywords: Cr metal, adsorbent, coal fly ash, chicken feathers

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
D. Ruang Lingkup	5
E. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Logam Crom (Cr)	7
1. Sifat-Sifat Kromium (Cr)	7
2. Kromium (Cr) di Lingkungan	9
3. Keracunan dan Dampak Kontaminasi Kromium (Cr)	10
4. Industri Penghasil Limbah Logam Kromium (Cr)	11

5. Baku Mutu Logam Kromium (Cr)	12
B. Adsorpsi dan Absorpsi pada Proses Sorpsi	12
1. Proses Adsorpsi	12
2. Proses Absorpsi	14
C. Proses Desorpsi	15
D. Adsorben	16
E. <i>Fly Ash</i> Batu Bara	17
F. Bulu Ayam	19
G. Aktivasi Adsorben	21
H. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	22
1. Komponen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	23
2. Prinsip Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	24
3. Nilai Absorbansi pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	25
4. Standar Nasional Indonesia yang Digunakan pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	27
I. Efisiensi Proses Adsorpsi	27

BAB III METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian	28
1. Variabel Bebas	28
2. Variabel Tetap	28
3. Variabel Terkendali	28
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	29
1. Waktu Penelitian	29

2. Lokasi Penelitian	29
C. Bahan dan Alat	30
1. Bahan	30
2. Alat	31
D. Populasi dan Sampel	32
E. Teknik Pengumpulan Data	33
1. <i>Fly Ash</i> Batu Bara sebagai Adsorben	33
a. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan <i>Fly Ash</i> Batu Bara	33
b. Prosedur Proses Adsorpsi Menggunakan <i>Fly Ash</i> Batu Bara	34
2. Bulu Ayam sebagai Adsorben	36
a. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan Bulu Ayam	36
b. Prosedur Proses Adsorpsi Menggunakan Bulu Ayam	37
F. Teknik Analisis	39
G. Diagram Alir Penelitian	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Gambaran Umum Penelitian	41
B. Penentuan Kondisi Optimum Setiap Variasi	42
1. Variasi Aktivator oleh Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	42
2. Variasi Massa Adsorben oleh Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	45
3. Variasi Waktu Kontak oleh Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	49
C. Efektivitas dari <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam sebagai	

Adsorben	53
D. Hubungan Hasil Adsorpsi oleh <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam Terhadap Baku Mutu	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	56
B. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	xvi
LAMPIRAN	xx

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Daftar Industri Penghasil Limbah Logam Kromium (Cr)	11
2. Kandungan Mineral <i>Fly Ash</i> Batu Bara	18
3. Komposisi Asam Amino Keratin Bulu Ayam	20
4. Karakteristik Larutan Logam Cr yang Digunakan dalam Penelitian	41
5. Data Kondisi Awal Adsorben dan Larutan Logam Cr yang akan Digunakan pada Variasi Aktivator	42
6. Rekapitulasi Hasil Adsorpsi pada Larutan Logam Cr oleh Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam pada Variasi Aktivator	43
7. Data Kondisi Awal Adsorben dan Larutan Logam Cr yang akan Digunakan pada Variasi Massa Adsorben	46
8. Rekapitulasi Hasil Adsorpsi pada Larutan Logam Cr oleh Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam dengan Variasi Massa Adsorben	46
9. Data Kondisi Awal Adsorben dan Larutan Logam Cr yang akan Digunakan pada Variasi Waktu Kontak	50
10. Rekapitulasi Hasil Adsorpsi pada Larutan Logam Cr oleh Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dengan Variasi Waktu Kontak	50
11. Rekapitulasi Hasil Absorpsi <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	53
12. Karakteristik Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
13. Komposisi dan Struktur Zeolit	19
14. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	22
15. Diagram Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	24
16. Lokasi Penelitian, di Laboratorium Kualitas Air, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin	29
17. Lokasi Pengambilan Sampel <i>Fly Ash</i> Batu Bara, di PLTU Punagaya, Bangkala, Kabupaten Jeneponto	30
18. Lokasi Pengambilan Sampel Bulu Ayam, di Pasar Daya, Jl Kapasa Raya, Daya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan	30
19. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan <i>Fly Ash</i> Batu Bara	33
20. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan Bulu Ayam	36
21. Diagram Alir Penelitian	40
22. Grafik Pengaruh Variasi Aktivator terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	43
23. Grafik Persentase Efektivitas Variasi Aktivator terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	44
24. Grafik Pengaruh Variasi Massa Adsorben terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	47
25. Grafik Persentase Efektivitas Variasi Massa Adsorben terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	48
26. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Kontak terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara dan Bulu Ayam	51

27. Grafik Persentase Efektivitas Variasi Waktu Kontak terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben Bulu Ayam

52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
28. Lampiran I: Aktivitas pada Penelitian	xx
29. Lampiran II: Analisis Perhitungan	xxiii
30. Lampiran III: Rekapitulasi Hasil Uji Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan Analisis Perhitungan	xxix
31. Lampiran II: Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-6989.17-2004	xxxii

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki sungai dengan kualitas aliran sungai yang tercemar berat. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, terdapat 52 sungai di Indonesia berstatus cemar berat. Menyusul kemudian 20 aliran sungai berstatus cemar sedang hingga cemar berat. Selain itu ada 7 sungai yang mengalami pencemaran ringan hingga cemar berat. Sisanya ada 21 sungai di Indonesia yang berstatus memenuhi baku mutu hingga tercemar ringan. Perolehan tersebut mencakup 100 aliran sungai pada 33 provinsi di Indonesia.

Pencemaran pada aliran sungai tersebut tidak lain disebabkan oleh adanya perkembangan ekonomi, sosial dan teknologi yang berkembang sangat pesat seiring tingginya kebutuhan masyarakat. Pembangunan industri merupakan salah satu bentuk usaha *sustainable development* yang dilakukan dalam rangka meningkatkan taraf hidup dan mengurangi angka pengangguran. Industri-industri tersebut termasuk industri cat, industri peleburan, pelapisan logam, industri baterai kadmium-nikel, pupuk fosfat, pertambangan, pigmentasi dan lainnya (Khumairoh, dkk. 2013). Aktivitas industri ini selanjutnya akan meninggalkan limbah cair yang mengandung logam berat dan apabila tidak diolah dengan baik akan menyebabkan pencemaran pada badan air. Salah satu limbah logam berat yang berpotensi menjadi pencemar bagi lingkungan adalah ion kromium (Cr).

Logam berat kromium (Cr) merupakan elemen berbahaya di permukaan bumi dan dijumpai pada kondisi oksida antara Cr (II) sampai Cr (VI), tetapi hanya ion logam Cr bervalensi tiga dan enam yang memiliki kesamaan sifat biologinya. Selain itu, ion logam Cr juga merupakan logam toksik dengan penanganan sangat sukar dibandingkan dengan logam toksik lain, penggunaan adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam merupakan salah satu cara menyisihkan logam berbahaya

sebelum dibuang ke lingkungan sehingga pencemaran oleh limbah toksik dapat diminimalkan (Afrianita, dkk. 2013). Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kawasan Industri, telah menetapkan bahwa kadar maksimum logam berat yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air khususnya logam Cr adalah 1 mg/L. Untuk itu, kandungan logam Cr dalam air limbah industri yang melebihi ambang batas harus dikurangi sebelum dibuang ke badan air.

Usaha-usaha pengendalian dan pengolahan limbah logam belakangan ini semakin berkembang yang mengarah pada upaya-upaya pencarian metode-metode baru yang murah, efektif, dan efisien. Metode pemisahan logam Cr dapat dilakukan dengan reduksi, penukaran ion, adsorpsi menggunakan karbon aktif, elektrolisa, osmosa balik, dan membran filtrasi. Penggunaan karbon aktif memerlukan biaya yang cukup mahal. Hal ini menyebabkan munculnya keinginan untuk menemukan material adsorpsi yang dikategorikan *low-cost* dengan kapasitas yang lebih baik menjadi adsorben dalam proses adsorpsi (Afrianita, dkk. 2013). Adsorben yang dapat dikategorikan sebagai *low-cost* adsorben adalah limbah *fly ash* (abu terbang) batu bara dan limbah bulu ayam.

Fly ash batu bara merupakan residu yang dihasilkan dari tungku pembakaran batu bara atau *lignite* (batu bara muda) pada suhu 1100°C hingga 1400°C (Afriani, dkk, 2014). Salah satu penyumbang *fly ash* batu bara terbesar adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dimana produksi *fly ash* dari pembangkit listrik di Indonesia terus meningkat. PLTU berbahan bakar batu bara menghasilkan *fly ash* mencapai 500-1000 ton perhari yang umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri (Nurhayati dan Shinta, 2013).

Hasil analisis kandungan mineral menunjukkan bahwa *fly ash* batu bara mengandung oksida-oksida logam termasuk logam-logam berat dalam jumlah kecil. Oksida utama dari abu layang batu bara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3). Keberadaan komponen silika dan alumina memungkinkan abu layang untuk dapat disintesis menjadi material yang strukturnya mirip dengan zeolit atau dikenal dengan *zeolite like material* (ZLM).

Struktur zeolit yang berpori merupakan sifat yang dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben suatu bahan pencemar yang dikeluarkan dari suatu industri (Sutrisno, 2014).

Selain *fly ash* batu bara, bulu ayam juga dapat dijadikan sebagai adsorben dalam mengurangi kadar Cr pada air limbah. Bulu ayam mengandung keratin yaitu protein kasar (80,0%), lemak kasar (7,8%) dan serat kasar (0,9%) (Rengga, dkk, 2018). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rizkanalia pada tahun 2011, kandungan keratin yang berupa protein atau asam amino memiliki komposisi sulfur dan sistein yang tinggi. Asam amino tersebut dapat mengadsorpsi logam berat khususnya sistein sehingga bulu ayam dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam Cr dengan kemampuan mengadsorpsi sebanyak 14,49 mg/L.

Selain mereduksi kandungan logam berat Cr pada air limbah, penggunaan limbah *fly ash* batu bara dan bulu ayam diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah yang di hasilkan dari PLTU dan tempat pemotongan ayam. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui efektivitas dari limbah *fly ash* batu bara dan bulu ayam boiler dalam mereduksi kandungan logam Cr pada air limbah dengan judul **“Studi Komparatif Efektivitas Penyisihan Ion Logam Kromium (Cr) oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam”**

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh aktivator yang bersifat asam dan basa pada proses aktivasi kimia *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben serta waktu kontak dengan konsentrasi larutan Cr dan kecepatan pengadukan yang telah ditentukan?
3. Bagaimana efektivitas dan persentase adsorben dalam mereduksi logam Cr pada larutan Cr pada kondisi variasi optimum?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu :

- a. Untuk menganalisis pengaruh aktivator yang bersifat asam dan basa pada proses aktivasi kimia *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben.
- b. Untuk menganalisis pengaruh variasi massa adsorben dan waktu kontak dengan konsentrasi larutan Cr dan kecepatan pengadukan yang telah ditentukan antara larutan Cr dengan adsorben terhadap konsentrasi Cr yang terserap pada proses adsorpsi.
- c. Untuk menganalisis efektivitas dan persentase adsorben dalam mereduksi logam Cr pada larutan logam Cr dengan kondisi variasi optimum.

2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk berbagai pihak, yaitu :

- a. Bagi peneliti
 1. Dapat melatih kemampuan juga pengalaman dalam bidang penelitian dan sebagai modal untuk melakukan pengembangan diri.
 2. Dapat menganalisis pengaruh aktivator yang bersifat asam dan basa pada proses aktivasi kimia *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben.
 3. Dapat menganalisis pengaruh variasi massa adsorben dan waktu kontak dengan konsentrasi larutan Cr dan kecepatan pengadukan yang telah ditentukan antara larutan Cr dengan adsorben terhadap konsentrasi Cr yang terserap pada proses adsorpsi.
 4. Dapat menganalisis efektivitas dan persentase adsorben dalam mereduksi logam Cr pada larutan Cr pada kondisi variasi optimum.
- b. Bagi Industri
 1. Sebagai usaha alternatif dan sebagai informasi bagi industri mengenai penanganan limbah *fly ash* batu bara, bulu ayam dan limbah cair yang mengandung logam.

2. Mengurangi limbah dari *fly ash* batu bara dan bulu ayam yang secara tidak langsung mengurangi pencemaran lingkungan.
- c. Bagi pembaca
- Sebagai referensi yang dapat menambah wawasan mengenai limbah *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai material adsorben untuk mengadsorpsi limbah cair yang mengandung logam.

D. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan utama yang digunakan dalam proses adsorpsi adalah sampel *fly ash* batu bara yang bersumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Punagaya, Kabupaten Jeneponto dan bulu ayam yang bersumber dari tempat pemotongan ayam di Pasar Daya, Kota Makassar.
2. Sampel air limbah yang digunakan adalah larutan yang mengandung logam Cr yang telah ditentukan konsentrasinya.
3. Variabel yang digunakan adalah massa adsorben, konsentrasi larutan Cr, aktivator asam dan basa, kecepatan pengadukan dan waktu kontak antara larutan Cr dengan adsorben terhadap konsentrasi Cr yang telah ditentukan.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang akan ditulis, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan pembahasan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika dalam penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan terhadap literatur atau topik yang terkait dengan penelitian Tugas Akhir.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan prosedur perolehan data serta tahapan atau alur kerja dalam pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan uraian mengenai hasil penelitian yang diperoleh beserta dengan pembahasan dan/atau analisis.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan uraian mengenai kesimpulan dari laporan Tugas Akhir dan saran terhadap kemungkinan adanya penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Logam Kromium (Cr)

Kromium merupakan unsur yang berwarna perak atau abu-abu baja, berkilau, rapuh, sangat tahan terhadap reagen korosif biasa, massif (utuh, tidak berongga) dan keras. Semua senyawa kromium dapat dikatakan beracun. Namun, meski berbahaya tetapi kromium dapat digunakan dalam bidang biologi yang berperan dalam proses metabolisme glukosa. Selain itu, dalam bidang kimia, kromium digunakan sebagai katalis, seperti $K_2Cr_2O_2$ yang merupakan agen oksidasi dan digunakan dalam analisis kuantitatif. Dalam industri tekstil, kromium digunakan sebagai mordants. Kromium juga memiliki beberapa isotop seperti ^{51}Cr yang digunakan untuk aplikasi medis yaitu untuk mengukur volume darah dan kelangsungan hidup sel darah merah (Apriliani, 2014).

1. Sifat-Sifat Kromium (Cr)

Kromium mempunyai konfigurasi elektron $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2,$ dan $3d^4$, sangat keras, mempunyai titik leleh dan didih tinggi di atas titik leleh dan titik didih unsur-unsur transisi deretan pertama lainnya. Bilangan oksidasi yang terpenting adalah +2, +3, dan +6, disebut terpenting karena reaksi dan senyawa kromium yang sering ditemukan hanya menyangkut kromium dengan bilangan oksidasi +2, +3, dan +6. Bilangan oksidasi +2, +3, dan +6 adalah bilangan yang menyatakan sifat muatan spesi tersebut ketika terbentuk dari atomatomnya yang netral. Jika di dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II) (Asmadi, dkk, 2009).

a. Kromium (+2)

Kromium biasanya melarut dalam asam klorida atau asam sulfat yang membentuk larutan $(Cr(H_2O)_6)^{2+}$ dengan warna larutan biru langit. Di dalam larutan air ion Cr^{2+} merupakan reduktor yang kuat dan mudah

dioksidasi di udara menjadi senyawa Cr^{3+} . Ion Cr^{2+} dapat juga bereaksi dengan H^+ dan dengan air jika terdapat katalis berupa serbuk logam.

b. Kromium (+3)

Senyawa kromium 3^+ adalah ion yang paling stabil diantara kation logam transisi yang mempunyai bilangan oksidasi +3. Kompleks Cr^{3+} umumnya berwarna hijau dan dapat berupa kompleks anion atau kation. Larutan yang mengandung Cr^{3+} ($\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6$) $^{3+}$ berwarna ungu, apabila dipanaskan menjadi hijau.

c. Kromium (+6)

Kromium (VI) oksida (CrO_3) bersifat asam sehingga dapat bereaksi dengan basa membentuk kromat. Jika larutan ion kromat diasamkan akan dihasilkan ion dikromat yang berwarna jingga. Dalam larutan asam, ion kromat atau ion dikromat adalah oksidator kuat. Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya ion-ion kromium yang telah membentuk senyawa mempunyai sifat yang berbeda-beda sesuai dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{2+} akan bersifat basa, ion Cr^{3+} bersifat amfoter, dan senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{6+} bersifat asam. Cr^{3+} dapat mengendap dalam bentuk hidroksida. Kromium hidroksida ini tidak larut, kondisi optimal Cr^{3+} dicapai dalam air dengan pH antara 8,5 – 9,5. Kromium hidroksida ini melarut akan lebih tinggi apabila kondisi pH rendah atau asam. Cr^{6+} sulit mengendap, sehingga dalam penanganannya memerlukan zat pereduksi untuk mereduksi menjadi Cr^{3+} . Senyawa kromium umumnya dapat berbentuk padatan (kristal CrO_3 , Cr_2O_3) larutan dan gas (uap dikromat). Kromium dalam larutan biasanya berbentuk trivalen (Cr^{3+}) dan ion heksavalen (Cr^{6+}). Dalam larutan yang bersifat basa dengan pH 8 sampai 10 terjadi pengendapan Cr dalam bentuk $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Sebenarnya kromium dalam bentuk ion trivalen tidak begitu berbahaya dibandingkan dengan bentuk heksavalen, akan tetapi apabila bertemu dengan oksidator dan kondisinya memungkinkan untuk Cr^{3+} tersebut akan berubah menjadi sama bahayanya dengan Cr^{6+} .

2. Kromium (Cr) di Lingkungan

Kromium tidak ditemukan sebagai logam bebas di alam. Kromium ditemukan dalam bentuk bijih kromium, khususnya dalam senyawa $PbCrO_4$ yang berwarna merah yang merupakan mineral kromium dan banyak ditemukan di Rusia, Brazil, Amerika Serikat, dan Tasmania. Selain itu, kromium juga dapat ditemukan di matahari, meteorit, kerak batu dan air laut juga dapat di hasilkan dari proses isolasi di laboratorium, karena kromium begitu mudah tersedia secara komersial. Sumber yang paling berguna dari komersial kromium adalah bijih kromit, $FeCr_2O_4$. Oksidasi bijih ini melalui udara dalam cairan alkali memberikan natrium kromat, Na_2CrO_4 dimana kromium dalam oksidasi 6 negara. Ini dikonversi menjadi Cr (III) oksida, Cr_2O_3 dengan ekstraksi ke dalam air, curah hujan, dan reduksi dengan karbon. Oksida kemudian dikurangi lagi dengan aluminium atau silikon untuk membentuk logam kromium. Isolasi jenis lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan krom adalah dengan proses elektroplating. Ini melibatkan pembubaran Cr_2O_3 dalam asam sulfat untuk memberikan suatu elektrolit yang digunakan untuk elektroplating krom (Haris, 2015).

Dalam penggunaannya sehari-hari, industri-industri yang menggunakan logam krom ternyata menghasilkan limbah yang memiliki sifat beracun dan berbahaya bagi lingkungan. Limbah krom berasal dari limbah industri penyamakan kulit, pelapisan logam, industri cat, industri zat warna, dan industri tekstil. Ion kromium dalam bentuk ion Cr (III) dan ion Cr (VI) merupakan bilangan oksidasi logam Cr yang banyak terdapat di lingkungan. Bentuk heksavalen mendapatkan perhatian yang lebih dikarenakan sifatnya yang beracun. Ion Cr (VI) merupakan ion logam yang sangat beracun yang dihubungkan dengan kanker pada manusia. Logam ini juga bersifat toksik untuk kehidupan akuatik pada konsentrasi yang relatif sangat rendah (Kartohardjono, dkk, 2008).

Senyawa kromium di dalam strata udara ditemukan dalam bentuk debu dan atau partikulat, dalam badan perairan Cr dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Masuknya Cr secara alamiah

dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor fisika, seperti erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan mineral. Masuknya Cr yang terjadi secara non alamiah lebih merupakan dampak atau efek dari aktivitas yang dilakukan manusia (Asmadi, dkk, 2009).

3. Keracunan dan Dampak Kontaminasi Kromium (Cr)

Adanya kromium dalam limbah cair menandakan telah terjadi pencemaran dari limbah industri, karena senyawa kromium murni tidak pernah terdapat di alam. Apabila senyawa kromium terdapat dalam jumlah besar, maka dapat menimbulkan keracunan akut dengan gejala mual, sakit perut, kurang kencing, dan koma. Apabila kontak dengan kulit, maka dapat menyebabkan dermatitis, dan kanker. Biasanya, senyawa kimia yang sangat beracun bagi organisme hidup adalah senyawa yang mempunyai bahan aktif dari logam berat. Sebagai logam Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh logam Cr ditentukan oleh valensi ionnya. Ion Cr^{6+} merupakan logam Cr yang paling banyak dipelajari sifat racunnya, bila dibandingkan dengan ion-ion Cr^{3+} dan Cr^{2+} . Sifat racun yang dibawa oleh logam ini juga dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis (Asmadi, dkk, 2009).

Tingkat toksisitas Cr (VI) sangat tinggi sehingga bersifat racun terhadap semua organisme untuk konsentrasi lebih dari 0,05 ppm. Cr (VI) bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit manusia. Sementara itu, toksisitas Cr (III) jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan Cr (VI), yaitu sekitar 1/100 kalinya, sehingga untuk mengolah limbah kromium maka Cr (VI) harus direduksi terlebih dahulu menjadi Cr (III). Di samping itu, Cr (III) mudah diendapkan atau diabsorpsi oleh senyawa-senyawa organik dan anorganik pada pH netral atau alkali (Slamet, dkk, 2005).

Walaupun hanya terdapat dalam jumlah kecil, kromium bersifat stabil dan terakumulasi dalam tubuh, sehingga lama-kelamaan dapat memicu sel-sel kanker (karsinogenik) yang dapat membahayakan kesehatan. Selain itu

bahaya logam kromium dapat mengakibatkan anemia, depresi, kelelahan, lemahnya daya ingat, insomnia, sakit kepala, iritasi bahkan kematian (Haryani, dkk, 2007).

4. Industri Penghasil Limbah Logam Kromium (Cr)

Pembangunan industri merupakan salah satu bentuk usaha *sustainable development* yang dilakukan dalam rangka meningkatkan taraf hidup dan mengurangi angka pengangguran. Aktivitas industri ini selanjutnya akan meninggalkan limbah cair yang mengandung logam berat dan apabila tidak diolah dengan baik akan menyebabkan pencemaran pada badan air. Salah satu limbah logam berat yang berpotensi menjadi pencemar bagi lingkungan adalah ion kromium (Cr). Berikut adalah industri yang menghasilkan limbah logam Cr menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Tabel 1. Daftar Industri Penghasil Limbah Logam Kromium (Cr)

No	Industri
1.	Petrokimia
2.	Peleburan/Pengolahan Besi dan Baja
3.	Operasi Penyempurnaan Baja
4.	Tekstil
5.	Manufaktur dan Perakitan Kendaraan dan Mesin
6.	Elektropanting dan Galvanis
7.	Cat
8.	Komponen Elektronik/Peralatan Elektronik
9.	Eksplorasi dan Produksi Minyak, Gas dan Panas Bumi
10.	Kilang Minyak dan Gas Bumi
11.	Penyamakan Kulit
12.	Zat Warna dan Pigmen
13.	Daur Ulang Minyak Pelumas Bekas
14.	Pengolahann Lemak Hewani/Nabati dan Derivatnya
15.	Aluminium Thermal Metallurgy Alluminium Chemical Conversion Coating
16.	Peleburan dan Penyempurnaan Seng - Zn
17.	Proses Logam Non-Ferro
18.	Metal Hardening
19.	IPAL Industri
20.	Gelas keramik / enamel

Sumber: PP RI Nomor 18, 1999.

5. Baku Mutu Logam Kromium (Cr)

Dalam upaya untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup agar mampu menunjang pelaksanaan pembangunan yang berkelanjutan, maka pemerintah Indonesia membuat peraturan perundang-undangan untuk mengurangi pencemaran logam Cr yang dihasilkan oleh beberapa industri dan menetapkan baku mutu limbah logam kromium yang boleh dikeluarkan ke lingkungan. Selain Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang menetapkan baku mutu logam Cr sebesar 0,25 mg/l, terdapat juga Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kawasan Industri, yang menetapkan bahwa kadar maksimum logam berat yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air khususnya logam Cr adalah 1 mg/L.

B. Adsorpsi dan Absorpsi pada Proses Sorpsi

Sorpsi adalah proses penyerapan ion oleh partikel penyerap (sorban). Umumnya, proses sorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi dan absorpsi. Proses adsorpsi jika ion tersebut tertahan dipermukaan partikel penyerap (adsorban), sedangkan absorpsi jika proses pengikatan ini berlangsung sampai di dalam partikel penyerap (absorben) (Zaini dan Muhammad, 2016).

1. Proses Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan sorben padat dan diikat oleh gaya – gaya yang bekerja pada permukaan tersebut. Bahan yang akan diserap disebut adsorbat atau *solute* sedangkan bahan penyerapannya dikenal sebagai adsorben (Azizah, 2017).

Adsorpsi umumnya terjadi berdasarkan interaksi antara logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pertukaran ion atau pembentukan kompleks, biasanya terjadi pada permukaan

padatan yang mengandung gugus fungsional seperti –OH, –NH, –SH dan COOH (Zaini dan Muhammad, 2016). Menurut Ahalya, dkk (2003) komponen yang berperan dalam proses adsorpsi antara logam berat dengan adsorben dari limbah adalah keberadaan gugus aktifhidroksil (–OH), karbonil (C=O), karboksil (–COOH), amina (–NH₂), amida (–CONH₂) dan tiol (–SH).

Menurut Nor (2013), terdapat dua proses adsorpsi, yaitu:

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi ini terdapat antaraksi Van der Waals antara adsorbat dan substrat dengan jarak jauh, lemah, dan energi yang dilepaskan jika partikel terfisisorpsi mempunyai orde besaran yang sama dengan entalpi kondensasi. Entalpi yang kecil ini tidak cukup untuk menghasilkan pemutusan ikatan, sehingga molekul yang terfisisorpsi tetap mempertahankan identitasnya, walaupun molekul itu dapat terdistorsi. Adsorpsi fisika umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok. Panas adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika adalah rendah yaitu kurang dari 20,92 kJ.mol⁻¹.

b. Adsorpsi Kimia

Dalam hal ini partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (kovalen) dan cenderung mencari tempat yang memaksimumkan bilangan koordinasinya dengan substrat. Molekul yang teradsorpsi, dapat terpisah karena tuntutan valensi atom permukaan, sebagai hasil kimisorpsi. Pada adsorpsi kimia, molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan bereaksi secara kimia dan karena terjadi pemutusan ikatan, maka panas adsorpsinya mempunyai kisaran yang sama seperti reaksi kimia, yaitu di atas 20,92 kJ.mol⁻¹.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi menurut Rizkamala (2011), yaitu :

a. Konsentrasi logam

Konsentrasi logam sangat berpengaruh terhadap penyerapan logam oleh adsorben. Pada permukaan penyerap, dalam hal ini

biomassa adsorben terdapat sejumlah sisi aktif dengan luas permukaan penyerap. Jadi dengan memperbesar konsentrasi larutan serapan logam akan meningkat secara linier hingga konsentrasi tertentu.

b. Luas permukaan adsorben

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan. Jadi, semakin besar luas permukaan adsorben maka penyerapan yang terjadi semakin merata.

c. Tumbukan antar partikel

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan antar partikel ini dapat dipercepat dengan adanya kenaikan suhu.

d. pH

pH mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi. pH lingkungan sangat mempengaruhi sifat gugus aktif dari adsorben dan adsorbatnya.

e. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Waktu kontak untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan logam oleh adsorben berkisar antar beberapa menit hingga beberapa jam.

2. Proses Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap tertentu sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairannya (Hadiyanto dan Djaeni, 2001). Adapun menurut Kartohardjono (2007), Absorpsi gas merupakan proses kontak antara campuran gas dan cairan yang

bertujuan menghilangkan salah satu komponen gas dengan cara melarutkannya menggunakan cairan yang sesuai. Proses absorpsi ini melibatkan difusi partikel-partikel gas ke dalam cairan. Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi absorpsi adalah kelarutan (*solubility*) gas dalam pelarut dalam kesetimbangan, tekanan operasi, serta temperatur. Pada umumnya, naiknya temperature menyebabkan kelarutan gas menurun.

Menurut Hadiyanto dan Djaeni (2001), terdapat dua proses absorpsi, yaitu:

a. Absorpsi Fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh reaksi ini adalah absorpsi gas H_2S dengan air, methanol, propilen karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik. Dari absorpsi fisik ini ada beberapa teori untuk menyatakan model mekanismenya, yaitu :

- 1) Teori model film
- 2) Teori penetrasi
- 3) Teori permukaan yang diperbaharui

b. Absorpsi Kimia

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi - ini adalah absorpsi gas CO_2 dengan larutan *Mano Ethanol Amine* (MEA), NaOH, K_2CO_3 dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO_2 pada pabrik Amonia. Penggunaan absorpsi kimia dalam fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat terlarut secara lebih sempurna dari campuran gasnya.

C. Proses Desorpsi

Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali ion/molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada adsorben. Peristiwa desorpsi dapat menandakan bahwa telah terbentuk kondisi kesetimbangan yang dinamis pada

proses adsorpsi. Adanya fenomena desorpsi disebabkan karena proses adsorpsi terjadi secara fisika, dimana proses adsorpsi terjadi secara reversibel sehingga akan menyebabkan ion-ion logam terlepas kembali ke dalam larutan air limbah dari permukaan adsorben. Fenomena desorpsi juga dapat disebabkan oleh adanya sifat kompetitif perebutan situs adsorben yang aktif antara logam dan ion logam atau konsentrasi lainnya yang terkandung pada limbah, sehingga menyebabkan ion-ion logam saling terlepas dan larut kembali ke dalam air limbah (Fajrianti, dkk, 2016).

Desorpsi terjadi bila proses adsorpsi yang terjadi sudah maksimal, permukaan adsorben jenuh/tidak mampu lagi menyerap adsorbat dan terjadi kesetimbangan. Desorpsi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan larutan tertentu untuk memulihkan kemampuan biomassa agar tidak rusak dan dapat digunakan kembali. Larutan yang biasa digunakan untuk desorpsi yaitu HCl, H₂SO₄, asam asetat, HNO₃ dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung pada jenis alga dan logam yang diserap (Purnamasari, 2016).

D. Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorpsi. Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik yaitu luas permukaan adsorben, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan sehingga semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya. Proses adsorpsi akan lebih baik bila tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi (Wardani, 2018)

Adapun macam-macam adsorben menurut Widiyatno, dkk (2017) meliputi:

- a. Adsorben polar, yaitu adsorben yang mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap asam karboksilat, alkohol, alumina, keton dan aldehid. Contohnya adalah alumina.
- b. Adsorben non polar, yaitu adsorben yang mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap amin dan senyawa yang bersifat basa. Contohnya adalah silika.

- c. Adsorben basa, yaitu adsorben yang mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap senyawa yang bersifat asam. Contohnya adalah Magnesia.

E. Fly Ash Batu bara

Indonesia memiliki banyak industri yang menggunakan batu bara sebagai bahan baku pembakaran, salah satunya adalah industri PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Produksi limbah PLTU berupa *bottom ash* (abu dasar) dan *fly ash* (abu layang). *Bottom ash* merupakan partikel abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku, sedangkan *fly ash* merupakan partikel abu yang terbawa gas buang. *Fly ash* sendiri secara teknik didefinisikan sebagai bahan hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus (Poernomo, 2009).

Fly ash pada masa kini dipandang sebagai limbah pembakaran batu bara. Penanganan *fly ash* batu bara masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Hal ini berpotensi bahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar seperti, logam-logam dalam abu terbang terekstrak dan terbawa ke perairan, abu terbang tertiuap angin sehingga mengganggu pernafasan. Sudut pandang terhadap *fly ash* batu bara harus diubah karena abu terbang merupakan bahan baku potensial yang dapat digunakan sebagai adsorben murah. Beberapa penelitian telah menyimpulkan bahwa *fly ash* batu bara memiliki kapasitas adsorpsi yang baik untuk menyerap gas organik, ion logam berat seperti (Fe, Pb, Cu, Cr, Cd, Cs, Na dan Zn), dan gas polutan. Modifikasi sifat fisik dan kimia perlu dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi (Novia, 2015)

Fly ash batu bara memiliki karakteristik yang mirip dengan karbon aktif, hal ini berdasarkan penelitian Chemical Engineering Alliance and Innovation (ChAIN) Center pada tahun 2006 yang memaparkan bahwa *fly ash* memenuhi syarat layak digunakan sebagai adsorben karena luas permukaan dan pori-porinya potensial (Mufrodi, 2008). *Fly ash* dari batu bara pada umumnya terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran >0.0075 mm dengan kerapatan antara $2100-3000$ kg/m³ dan luas area spesifik

antara 170-1000 m²/kg. Massa jenis fly ash dalam kondisi *loose* berkisar 540 - 860 kg/m³, dan dalam kondisi dipadatkan dengan penggetaran dalam kemasan pada umumnya mempunyai massa jenis 1.120 - 1.500 kg/m³. Dari beberapa hasil penelitian juga menunjukkan bahwa abu terbang dapat digunakan sebagai adsorben untuk penyisihan logam berat terutama Pb, Ni, Cr, Cu, Cd dan Hg. Secara teknis abu terbang dapat dikonversi menjadi zeolit melalui proses hidrotermal alkali treatment yaitu dengan memanaskan *fly ash* batu bara dengan larutan alkali (KOH, NaOH) dalam variasi waktu, suhu dan tekanan tertentu (Zulkifli, 2009). Adapun kandungan mineral *fly ash* batu bara menurut Wardani (2018) dapat dilihat pada tabel berikut.

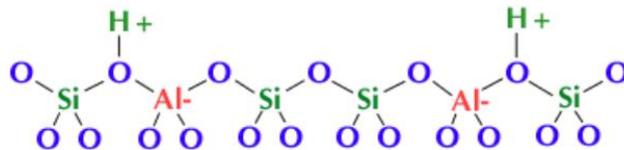
Tabel 2. Kandungan Mineral *Fly Ash* Batu Bara

No	Komponen	Jumlah (%)
1.	SiO ₂	39,8469
2.	Al ₂ O ₃	12,7389
3.	FeO	18,3053
4.	CaO	21,5784
5.	MgO	5,6853
6.	TiO ₂	1,1439
7.	S	0,6714
8.	Na ₂ O	0,5863
9.	MnO	0,3424
10.	ZnO	0,1162
11.	P ₂ O ₅	0,1104
12.	V ₂ O ₅	0,0401
13.	Cr ₂ O ₇	0,0008

Sumber : Wardani, 2018

Hasil analisis kandungan mineral menunjukkan bahwa *fly ash* batu bara mengandung oksida-oksida logam termasuk logam-logam berat dalam jumlah kecil. Oksida utama dari *fly ash* batu bara adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃). Keberadaan komponen silika dan alumina memungkinkan *fly ash* batu bara untuk dapat disintesis menjadi material yang strukturnya mirip dengan zeolit atau dikenal dengan *Zeolite Like Material (ZLM)*. Struktur zeolit yang berpori merupakan sifat yang dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben suatu bahan pencemar yang dikeluarkan dari suatu industri. Karena tingginya kandungan silika dan alumina di dalamnya, *fly ash* batu bara dapat dimanfaatkan

sebagai sumber silika dan alumina dalam sintesis material zeolit. Struktur zeolit dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasar struktur padatan yang berpori dan memiliki rongga-rongga serta stabilitas termal yang besar, material mirip zeolit dapat difungsikan sebagai pengemban logam katalis atau adsorben (Sutrisno, 2014).



Gambar 1. Komposisi dan Struktur Zeolit

Usaha untuk memperbaiki kristalinitas dan efektifitas *fly ash* batu bara telah banyak dilakukan yaitu dengan cara dekomposisi abu layang. Dekomposisi bertujuan menghilangkan senyawa pengotor pada *fly ash* batu bara, sehingga dapat memperbaiki struktur kristal, porositas dan daya adsorpsi terhadap beberapa ion logam. Metode dekomposisi yang banyak digunakan adalah pencucian *fly ash* batu bara menggunakan larutan alkali atau asam. Prinsip dekomposisi tersebut adalah memperkecil kandungan senyawa pengotor yang terikat dalam *fly ash* batu bara. Penghilangan senyawa pengotor akan menaikkan kristalinitas *fly ash* batu bara, dengan demikian akan menaikkan kinerja *fly ash* batu bara sebagai material katalis atau adsorben (Sutrisno, 2014).

Pemanfaatan lain *fly ash* batu bara juga sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta untuk mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Contoh pemanfaatan *fly ash* yaitu digunakan sebagai bahan campuran pembuatan beton, bahan campuran atau pengganti semen pada pembuatan roster, sebagai bahan baku keramik serta digunakan sebagai adsorben (Lestari, 2013).

F. Bulu Ayam

Bulu ayam merupakan limbah yang berasal dari rumah pemotongan unggas dengan jumlah berlimpah dan terus bertambah seiring meningkatnya populasi ayam dan tingkat pemotongan sebagai akibat meningkatnya permintaan

daging ayam oleh konsumen. Bulu ayam sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan dan hanya sebagian kecil saja yang dimanfaatkan sebagai bahan untuk membuat kemoceng, pengisi jok, pupuk tanaman, kerajinan tangan/hiasan dan *shuttle cock* (Adiati, dkk, 2004).

Bulu ayam merupakan bahan yang berserat yang dapat mengadsorpsi ion-ion logam dalam larutannya. Bulu ayam mengandung protein serat atau keratin yaitu: protein kasar (80,00%), lemak kasar (7,79%) dan serat kasar (0,88%) (Elfia dkk, 2002). Kandungan keratin yang berupa protein atau asam amino memiliki komposisi sulfur dan sistein yang tinggi. Asam amino tersebut dapat mengadsorpsi logam berat khususnya sistein (Rizkamala, 2011). Biomassa bulu ayam digunakan sebagai adsorben karena bulu ayam mengandung keratin yang digolongkan dalam protein serat yang mengandung gugus-gugus N-H, C=O, O-H, COOH dan S-H (Sa'adah, dkk, 2013).

Tabel 3. Komposisi Asam Amino Keratin Bulu Ayam

No	Asam Amino	Konsentrasi (% b/b)
1.	Serin	9,31
2.	Asam aspartat	4,73
3.	Glysin	6,18
4.	Asam glutamate	7,65
5.	Prolin	8,77
6.	Histidin	0,43
7.	Arginin	5,36
8.	Leusin	7,04
9.	Threonin	3,50
10.	Tirosin	1,96
11.	Alanin	3,56
12.	Valin	6,94
13.	Metionin	1,30
14.	Sistein	7,63
15.	Isoleusin	4,28
16.	Lisin	0,53
17.	Fenilalanin	4,20

Sumber: Setyabudi, 2015.

Kesediaan limbah bulu ayam ini cukup melimpah, diketahui bahwa populasi ayam pedaging di Indonesia pada tahun 2008 adalah 1.076 juta ekor (BPS, 2008). Menurut Latifah (2014), hasil pemotongan setiap ekor ternak unggas

akan diperoleh bulu sebanyak $\pm 6\%$ dari bobot hidup (bobot potong $\pm 1,5$ kg), maka diperkirakan pada tahun tersebut dihasilkan 96.830 ton limbah bulu ayam. Jumlah ayam yang dipotong terus meningkat dari tahun ke tahun sehingga bulu ayam yang dihasilkan juga meningkat. Dalam hal ini perlu dilakukan pengelolaan limbah bulu ayam dengan memanfaatkannya sebagai adsorben Cr dalam pengolahan limbah cair.

Para ahli telah lama mengetahui bahwa bahan-bahan yang berserat seperti wool, bulu ayam, dan rambut dapat mengadsorpsi ion-ion logam dalam larutan. Adsorpsi ion logam oleh bahan-bahan berserat keratin dapat ditingkatkan dengan mengolah bahan-bahan tersebut dengan suatu bahan kimia tertentu. Beberapa penelitian melaporkan bahwa rambut manusia dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam tembaga (II). Adanya sifat adsorpsi rambut manusia tersebut mendorong banyak kajian yang menyelidiki kemungkinan penggunaan bahan-bahan berserat keratin sebagai adsorben yang murah dan sederhana dari pada adsorben lainnya yang biasanya mahal (Ni'mah, 2007).

G. Aktivasi Adsorben

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan kemampuan sesuatu bahan agar bersifat lebih aktif dari keadaan semula. Aktivasi dapat dilakukan untuk memperluas ukuran, volume pori dan membentuk pori yang baru. Menurut Nurhidayati (2010) aktivasi dapat dilakukan dengan metode fisika dan kimia.

1. Aktivasi secara fisika

Aktivasi fisika dilakukan melalui proses pemanasan (kalsinasi). Pemanasan bertujuan untuk menguapkan air dan pengotor-pengotor lain yang terperangkap dalam pori-pori kristal. Sebagai akibatnya pori-pori tersebut menjadi kosong, yang berarti akan mempertinggi dan dapat menyebabkan peningkatan daya adsorpsi.

2. Aktivasi secara kimia

Aktivasi kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori yang sulit diuapkan atau cenderung terikat kuat dari pengotor serta mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Proses aktivasi dilakukan

melalui penambahan larutan basa atau asam pada adsorben secara merata dengan pemanasan selama beberapa waktu tertentu. Setelah penambahan basa atau asam dilakukan penetralan dengan cara pencucian dan dilanjutkan pengeringan.

H. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode analisa yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*). Penyerapan energi tersebut menyebabkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat energi yang lebih tinggi (*exited state*). Pengukuran intensitas radiasi yang diberikan sebanding dengan jumlah atom pada tingkat energi dasar yang menyerap energi radiasi tersebut. Dengan mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (*transmitasi*) atau mengukur intensitas radiasi yang diserap, maka konsentrasi unsur didalam cuplikan dapat ditentukan (Azizah, 2017).



Gambar 2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

1. **Komponen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)**

Menurut Nor (2013), terdapat beberapa komponen utama dalam setiap peralatan spektrofotometer serapan atom (SSA). Adapun komponen tersebut meliputi :

a. Sumber Cahaya

Sumber cahaya atau sinar emisi, untuk menghasilkan sinar dengan energi tertentu dan energi yang sesuai. Sumber sinar radiasi yang digunakan dalam pengukuran dengan metode SSA adalah lampu katoda cekung yang terdiri atas anoda tungsten bermuatan positif dan katoda silindris bermuatan negatif. Sumber sinar radiasi diperlukan untuk menghasilkan sinar dengan energi yang dapat diserap oleh atom-atom netral dalam keadaan dasar.

b. Sistem Atomisasi

Sistem pengatoman untuk menghasilkan atom-atom dalam keadaan bebas sebagai media absorpsi atau sel serapan.

c. Sistem Optik

Sistem optik pada SSA berfungsi sebagai pengumpul cahaya dari sumbernya dan mengarahkannya kedalam atom-atom serta ke monokromator. Sistem optik terdiri dari susunan beberapa lensa yang terbuat dari gelas silikat dan dapat menstransmisikan cahaya pada panjang gelombang 190- 900 nm.

d. Monokromator

Monokromator pada SSA berfungsi untuk menyeleksi berkas sinar atau spektra atau memisahkan antara berkas sinar yang dikehendaki dengan yang tidak dikehendaki.

e. Amplifier

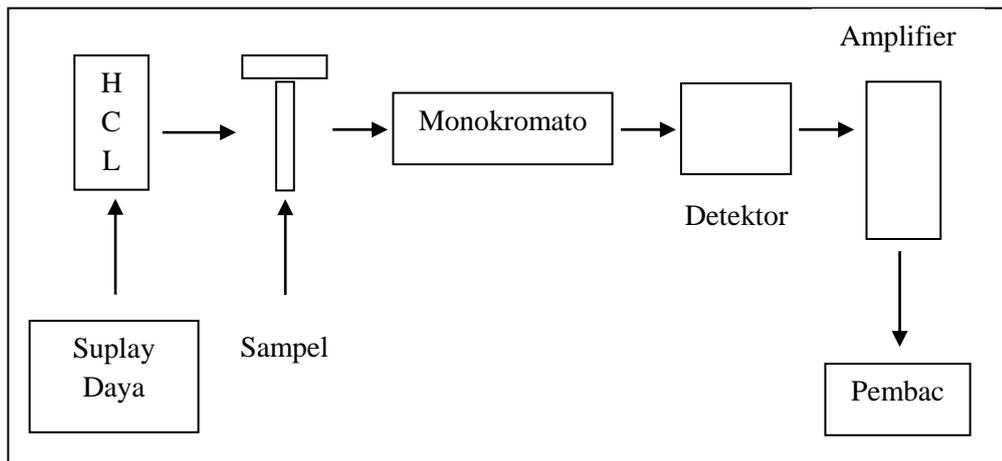
Amplifier (penguat sinyal) berfungsi sebagai penguat sinyal listrik yang dihasilkan oleh detektor.

f. Detektor

Detektor berfungsi mengubah energi sinar menjadi energi listrik sehingga dapat terbaca oleh sistem pembacaan.

g. Sistem Pembacaan (*recorder*)

Sistem Pembacaan (*recorder*) merupakan bagian yang menampilkan suatu angka atau gambar yang dapat dibaca.



Gambar 3. Diagram Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

2. Prinsip Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Prinsip dasar analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) menurut Nor (2013) adalah:

a. Atomisasi

Atomisasi yaitu pengubahan bentuk unsur yang akan dianalisis dari bentuk ion menjadi atom bebas dalam keadaan dasar. Energi yang cukup besar dibutuhkan untuk memperoleh atom bebas dalam keadaan dasar. Atomisasi ada 2 jenis yaitu atomisasi dengan nyala dan atomisasi tanpa nyala.

1) Atomisasi dengan nyala

Suatu senyawa logam yang dipanaskan akan membentuk atom logam pada suhu $\pm 1700^{\circ}\text{C}$ atau lebih. Sampel yang berbentuk cairan akan dilakukan atomisasi dengan cara memasukan cairan tersebut kedalam nyala campuran gas bakar. Tingginya suhu nyala yang diperlukan untuk atomisasi setiap unsur berbeda. Beberapa unsur dapat ditentukan dengan nyala dari campuran gas yang berbeda tetapi

penggunaan bahan bakar dan oksidan yang berbeda akan memberikan sensitivitas yang berbeda pula.

Syarat gas yang dapat digunakan dalam atomisasi dengan nyala :

- a) Campuran gas memberikan suhu nyala yang sesuai untuk atomisasi unsur yang akan dianalisa.
- b) Tidak berbahaya misalnya tidak mudah menimbulkan ledakan.
- c) Gas cukup aman, tidak beracun dan mudah dikendalikan.
- d) Gas cukup murni dan bersih (UHP).

2) Atomisasi tanpa nyala

Pada sistem pengatoman tanpa nyala biasanya memakai tungku grafit. Proses atomisasi dengan grafit ini berlangsung dalam ruang tertutup yang dialiri gas inert (biasanya argon). Sedangkan untuk sistem pengatoman dengan cara plasma atau pembentukan hidrid biasanya untuk menetapkan raksa (Hg), karena raksa pada suhu biasa mudah menguap, dan dalam keadaan atom bebas.

b. Interaksi antara bahan dengan materi

Interaksi antara bahan dengan materi yaitu bila sejumlah sinar radiasi dengan panjang gelombang tertentu yang berasal dari lampu katoda cekung dilewatkan melalui sistem yang mengandung populasi atom dari unsur-unsur yang berada pada tingkat energi dasar yang sama atau yang sesuai akan terjadi interaksi antara sinar dengan atom-atom. Transisi elektron dari suatu tingkat energi yang rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi hanya bisa terjadi apabila ada penyerapan sejumlah energi tertentu pada proses interaksi antara materi dengan berbagai energi. Keadaan pada tingkat energi yang lebih tinggi disebut atom berada pada keadaan tereksitasi, yang sifatnya tidak stabil dan akan kembali ke keadaan dasar.

3. Nilai Absorbansi pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Absorbansi adalah suatu polarisasi cahaya yang terserap oleh bahan (komponen kimia) tertentu pada panjang gelombang tertentu sehingga akan

memberikan warna tertentu terhadap bahan. Sinar yang dimaksud yakni bersifat monokromatis dan mempunyai panjang gelombang tertentu. Beberapa atom hanya dapat menyerap sinar dengan panjang gelombang sesuai dengan unsur atom tersebut. Sehingga memiliki sifat yang spesifik bagi suatu unsur atom (Anonim, 2012).

Jika cahaya yang bersifat monokromatis tersebut dilewatkan pada media transparan maka intensitas cahaya akan berkurang sebanding dengan ketebalan konsentrasi larutan. Untuk terjadi proses absorpsi butuh senyawa standar. Bahan memiliki konsentrasi tertentu untuk dapat terjadi proses absorpsi. Bahan tidak boleh terlalu pekat sehingga harus diencerkan terlebih dahulu sebelum melakukan absorpsi. Untuk menemukan konsentrasi unsur logam dapat dilakukan dengan cara membandingkan nilai absorpsi dengan absorpsi zat standar yang dikeruhi konsentrasinya (Anonim, 2012).

Jika sinar monokromatik dilewatkan suatu larutan maka penurunan intensitas sinar berbanding langsung dengan intensitas radiasi, konsentrasi dan dengan ketebalan larutan. Nilai absorpsi diperoleh dari rumus pada Persamaan (1) :

$$A = - \text{Log } T = - \text{Log } \frac{I_t}{I_0} = \epsilon \cdot b \cdot C \quad (1)$$

dimana :

A = Absorpsi dari sampel yang akan diukur

T = Transmittansi

I₀ = Intensitas sinar masuk

I_t = Intensitas sinar yang diteruskan

ε = Koefisien ekstingsi

B = Tebal kuvet yang digunakan

C = Konsentrasi dari sampel

Nilai absorpsi selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan nilai konsentrasi dari larutan menggunakan perhitungan kurva kalibrasi, dimana kurva kalibrasi secara otomatis dihitung oleh alat Spektrofotometer Serapan

Atom (SSA). Semakin tinggi nilai absorbansi maka semakin besar pula konsentrasi larutan yang digunakan.

4. Standar Nasional Indonesia yang Digunakan pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Dalam penelitian ini, pengujian yang dilakukan untuk menghitung kandungan logam Cr total pada larutan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 06-6989.17-2004 tentang Air dan Air Limbah – Bagian 17: Cara Uji Krom Total (Cr- T) dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala.

I. Efisiensi Proses Adsorpsi

Nilai efisiensi pada proses adsorpsi yang dilakukan pada suatu penelitian sangat dibutuhkan untuk mengetahui apakah penelitian yang dilakukan telah efektif atau tidak. Nilai efisiensi ini juga menunjukkan apakah penelitian yang dilakukan akurat dan dapat diaplikasikan langsung atau perlu ada perbaikan-perbaikan guna menghasilkan tingkat efektivitas yang mendekati sempurna.

Adapun untuk mencari nilai efisiensi adsorpsi oleh adsorben menurut Azizah (2017), yaitu ditampilkan pada Persamaan (2) :

$$\text{Efisiensi Adsorpsi} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

dengan :

C_0 = Konsentrasi awal

C = Konsentrasi hasil pengukuran

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah faktor yang mempengaruhi hasil analisis, yaitu :

- a) Aktivator dengan variasi berupa NaOH dan HCl dengan konsentrasi 1 M;
- b) Massa adsorben dengan variasi berat 1, 2, 3, 4 dan 5 gram; dan
- c) Waktu kontak dengan variasi waktu 10, 20 30, 40 dan 50 menit.

2. Variabel Tetap

Variabel tetap adalah faktor yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam hal ini, variabel tetap merupakan keadaan awal larutan Cr, adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam, dengan :

- a) Konsentrasi larutan logam Cr, yaitu 100 mg/L;
- b) Volume larutan, yaitu 100 ml;
- c) Ukuran adsorben bulu ayam sekitar 5 – 10 mm;
- d) Massa adsorben, yaitu 3 gram;
- e) Kecepatan pengadukan, yaitu 250 rpm; dan
- f) Waktu kontak, yaitu 30 menit.

3. Variabel Terkendali

Variabel terkendali adalah faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi analisis larutan logam Cr, akan tetapi dijaga agar tetap konstan, meliputi :

- a) Jenis bulu ayam;
- b) Jenis *fly ash* batu bara;
- c) Suhu;
- d) Cara kerja;
- e) Alat; dan
- f) Kondisi analisis.

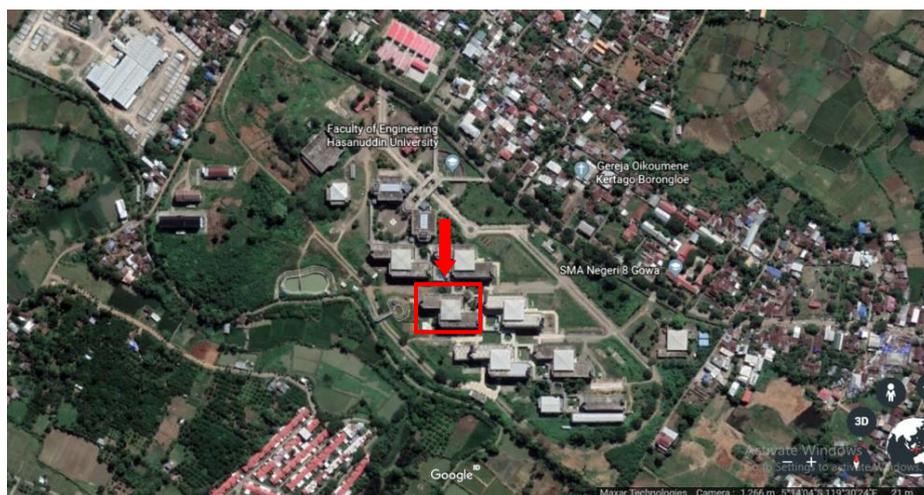
B. Waktu dan Lokasi Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 15 September 2019 - 8 Oktober 2019. Penelitian ini dilakukan selama dua puluh empat hari, terhitung sejak pengambilan sampel *fly ash* batu bara dan bulu ayam hingga pengujian sampel untuk mengetahui efektivitas dari *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben untuk mereduksi logam Cr pada air limbah.

2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin sebagai lokasi pengujian sampel dengan lokasi pengambilan sampel adsorben yang berbeda. Sampel *fly ash* batu bara diperoleh dari hasil pembakaran PLTU Punagaya yang berlokasi di Punagaya, Bangkala, Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan. Adapun sampel bulu ayam diperoleh dari tempat pemotongan ayam di Pasar Daya, yang berlokasi di Jl Kapasa Rata, Daya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.



Gambar 4. Lokasi Penelitian, di Laboratorium Kualitas Air, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Sumber : Google Earth, 2019.



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel *Fly Ash* Batu Bara, di PLTU Punagaya, Bangkala, Kabupaten Jeneponto.
 Sumber : Google Earth, 2019.



Gambar 6. Lokasi Pengambilan Sampel Bulu Ayam, di Pasar Daya, Jl Kapasa Raya, Daya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan
 Sumber : Google Earth, 2019.

C. Bahan dan Alat

1. Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Fly Ash* batu bara, digunakan sebagai adsorben dalam penelitian ini. *Fly ash* batu bara yang digunakan adalah *fly ash* dengan jenis *fly ash fresh* dari PLTU Punagaya, Kabupaten Jeneponto.
- b. Bulu ayam, juga digunakan sebagai adsorben dalam penelitian ini. Bulu ayam yang digunakan bersumber dari tempat pemotongan ayam di Pasar Daya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.
- c. Deterjen, digunakan sebagai bahan untuk mencuci bulu ayam agar menghilangkan kotoran dan bau yang terdapat pada adsorben bulu ayam.
- d. NaOH dan HCl, digunakan sebagai aktivator dalam proses aktivasi kimia pada adsorben untuk membersihkan dan memperluas permukaan pori adsorben
- e. Larutan logam Cr, digunakan untuk mengetahui daya adsorpsi terhadap logam Cr oleh *fly ash* batu bara dan bulu ayam setelah diaktivasi.
- f. Normal hexan, digunakan sebagai bahan untuk menghilangkan kandungan lemak yang ada pada bulu ayam sehingga kemampuan adsorpsi dapat lebih meningkat.
- g. Kertas saring, digunakan secara bersamaan dengan *vacuum filtration* untuk menyaring larutan logam Cr yang mengandung adsorben.
- h. Aquades, digunakan untuk mengencerkan dan/atau menetralkan bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini.

2. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Spektrofotometer Searapan Atom (SSA), digunakan sebagai alat untuk mengetahui kadar logam Cr di dalam larutan pada pengujian setiap variasi.
- b. *Flocculator / Jar test*, digunakan sebagai alat untuk mengaduk adsorben dengan larutan sesuai lama waktu yang telah ditentukan
- c. *Vacuum filtration*, digunakan secara bersamaan dengan kertas saring untuk menyaring larutan logam Cr yang mengandung adsorben.

- d. Timbangan elektrik, digunakan untuk menimbang massa *fly ash* batu bara dan bulu ayam sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.
- e. *Oven*, digunakan sebagai alat untuk mengurangi kadar air pada sampel dan sebagai alat untuk sterilisasi alat-alat yang digunakan.
- f. Gelas beker, digunakan sebagai wadah ketika *fly ash* batu bara dan bulu ayam yang telah diolah dan kemudian diaduk menggunakan *Floccukator*.
- g. Labu ukur, digunakan sebagai wadah untuk melakukan pengenceran pada larutan logam Cr yang telah terjadi proses adsorpsi.
- h. Gelas Ukur, digunakan sebagai wadah untuk mengukur banyaknya larutan logam Cr yang akan diadsorpsi oleh adsorben.
- i. Pipet tetes, digunakan sebagai alat untuk membantu memasukkan atau memindahkan larutan dari wadah satu ke wadah yang lain sesuai dengan ukuran yang ditentukan.
- j. Corong, digunakan sebagai alat untuk memasukkan larutan ke dalam gelas labu.
- k. Gelas labu, digunakan sebagai wadah untuk menempatkan larutan yang telah disaring menggunakan kertas saring.

D. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah *fly ash* batu bara yang dihasilkan dari kegiatan pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Punagaya, Kabupaten Jeneponto sementara bulu ayam dihasilkan dari limbah pemotongan ayam di Pasar Daya, Kota Makassar. Selain itu, aktivator kimia, massa adsorben dan waktu kontak juga termasuk dalam populasi pada penelitian ini.

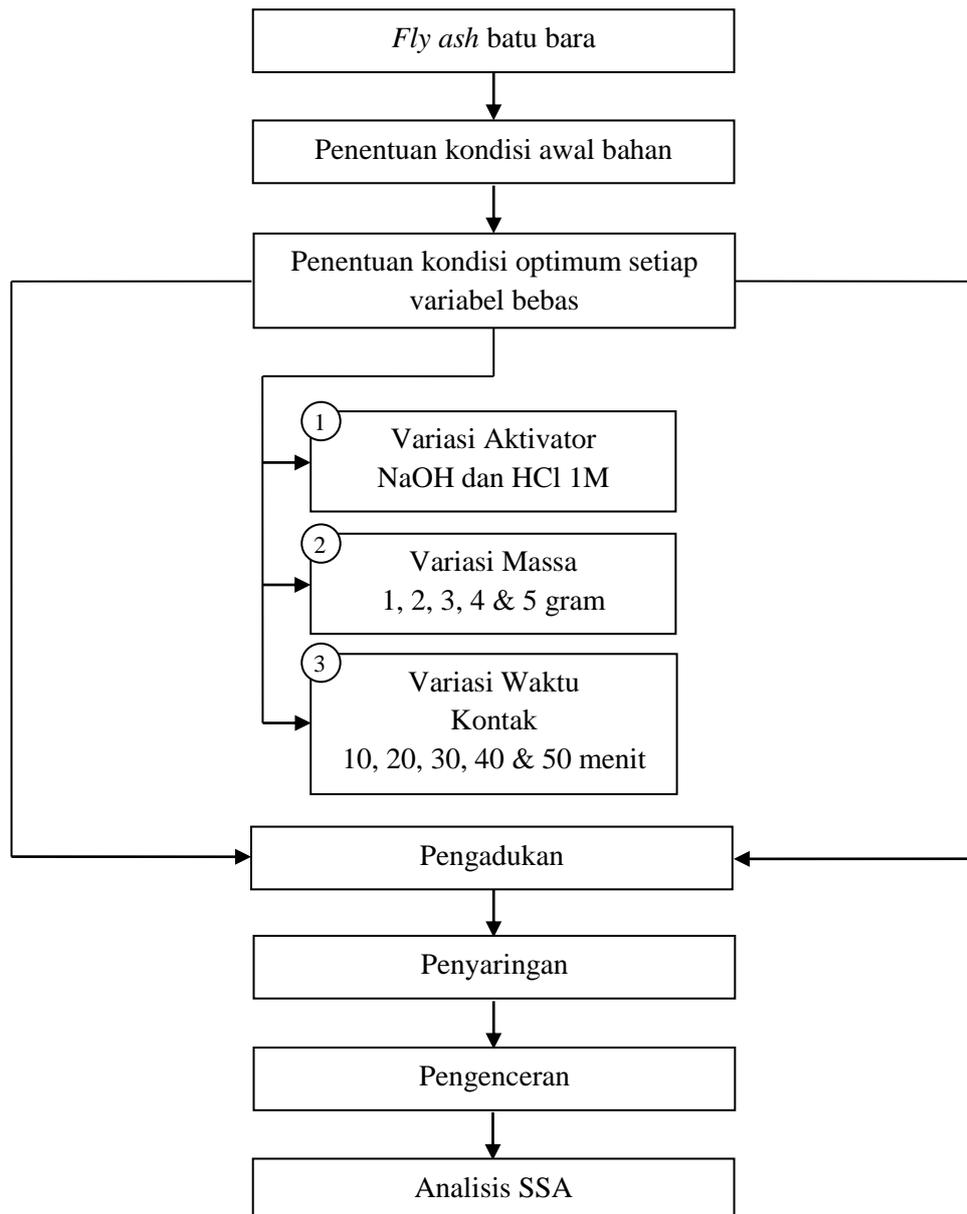
Sampel dalam penelitian ini adalah *fly ash* batu bara dengan jenis *fly ash fresh* yang baru diambil dari cerobong Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Punagaya, Kabupaten Jeneponto dan cuplikan bulu ayam yang diambil secara acak dari tempat pemotongan ayam di Pasar Daya, Kota Makassar. Selain itu, variabel bebas dari variasi aktivator kimia, massa adsorben dan variasi waktu kontak juga termasuk dalam sampel pada penelitian ini.

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data akan dijabarkan dalam beberapa tahap berikut ini:

1. *Fly Ash* Batu Bara sebagai Adsorben

a. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan *Fly Ash* Batu Bara



Gambar 7. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan *Fly Ash* Batu Bara

b. Prosedur Proses Adsorpsi Menggunakan *Fly Ash* Batu Bara

1) Pengambilan sampel *fly ash* batu bara

Sampel *fly ash* batu bara yang digunakan berasal dari limbah hasil pembakaran batu bara di PLTU Punagaya, Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan.

2) Kondisi awal bahan pada proses optimasi variabel yang bervariasi

- a) Larutan Cr yang digunakan adalah larutan yang mengandung logam Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
- b) Volume larutan logam Cr yang digunakan adalah 100 ml.
- c) Massa *fly ash* batu bara yang digunakan adalah 3 gram.
- d) Kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 250 rpm.
- e) Waktu kontak yang digunakan adalah 30 menit.

3) Optimasi aktivasi *fly ash* batu bara dengan metode kimia

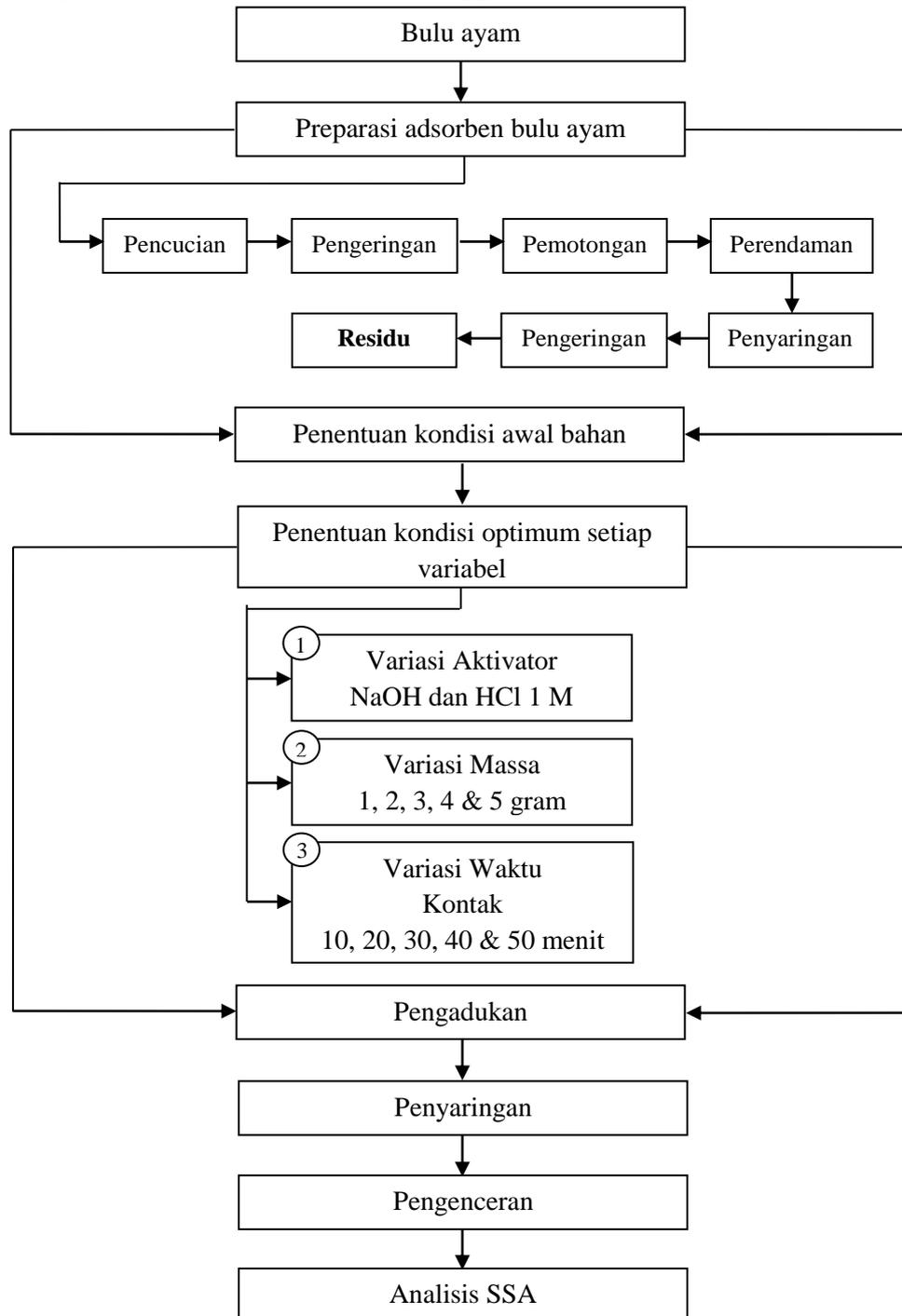
- a) Menimbang *fly ash* batu bara sebanyak 100 gram dengan neraca analitik sebanyak 2 kali.
- b) Merendam *fly ash* batu bara dengan larutan NaOH dan HCl dengan konsentrasi 1 M masing-masing sebanyak 100 gram.
- c) *Fly ash* batu bara yang telah direndam kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C hingga berat konstan.
- d) Setelah kering, siapkan variasi aktivator *fly ash* batu bara masing-masing sebanyak 3 gram dari hasil aktivasi NaOH dan HCl
- e) Masukkan *fly ash* batu bara variasi aktivator pada poin d ke dalam 100 ml larutan logam Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
- f) Aduk campuran larutan pada poin e menggunakan *flocculator* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
- g) Setelah diaduk, saring larutan logam Cr menggunakan *vacuum filtration*.
- h) Larutan logam Cr yang telah disaring kemudian disalin ke dalam gelas labu dan diambil sebanyak 5 ml menggunakan pipet tetes.
- i) Encerkan 5 ml larutan logam Cr dengan aquades di dalam labu ukur ukuran 100 ml.

- j) Analisis hasil adsorpsi dari larutan logam Cr yang telah diencerkan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
- 4) Optimasi variasi massa *fly ash* batu bara
- a) Siapkan variasi massa *fly ash* batu bara dari hasil aktivasi optimum yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 gram.
 - b) Masukkan *fly ash* batu bara variasi massa pada poin a ke dalam 100 ml larutan logam Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
 - c) Aduk campuran larutan pada poin b menggunakan *flocculator* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
 - d) Setelah diaduk, saring larutan logam Cr menggunakan *vacuum filtration*.
 - e) Larutan logam Cr yang telah disaring kemudian disalin ke dalam gelas labu dan diambil sebanyak 1 ml menggunakan pipet tetes.
 - f) Encerkan 1 ml larutan logam Cr dengan aquades di dalam labu ukur ukuran 100 ml.
 - g) Analisis hasil adsorpsi dari larutan logam Cr yang telah diencerkan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
- 5) Optimasi variasi waktu kontak
- a) Siapkan *flocculator* yang akan digunakan dengan waktu kontak 10, 20, 30, 40 dan 50 menit.
 - b) Masukkan *fly ash* batu bara dengan aktivasi dan massa optimum ke dalam 100 ml larutan Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
 - c) Aduk campuran larutan pada poin b menggunakan *flocculator* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
 - d) Setelah diaduk, saring larutan logam Cr menggunakan *vacuum filtration*.
 - e) Larutan logam Cr yang telah disaring kemudian disalin ke dalam gelas labu dan diambil sebanyak 1 ml menggunakan pipet tetes.
 - f) Encerkan 1 ml larutan logam Cr dengan aquades di dalam labu ukur ukuran 100 ml.

- g) Analisis hasil adsorpsi dari larutan logam Cr yang telah diencerkan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

2. Bulu Ayam sebagai Adsorben

a. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan Bulu Ayam



Gambar 8. Diagram Alir Proses Adsorpsi Menggunakan Bulu Ayam

b. Prosedur Proses Adsorpsi Menggunakan Bulu Ayam

1) Pengambilan sampel bulu ayam

Sampel bulu ayam yang digunakan adalah cuplikan bulu ayam yang diambil secara acak dari tempat pemotongan ayam di Pasar Daya, Kota Makassar.

2) Preparasi adsorben bulu ayam

a) Bulu ayam dicuci dengan air dan deterjen beberapa kali, kemudian dijemur hingga kering dan hilang baunya.

b) Setelah kering, bulu ayam dipisahkan dari tulang tengahnya kemudian digunting kecil-kecil sampai halus dengan kisaran ukuran 5-10 mm.

c) Bulu ayam yang telah digunting selanjutnya direndam dengan larutan normal hexan selama 15 menit untuk menghilangkan lemak yang terkandung pada bulu ayam.

d) Selanjutnya, bulu ayam yang telah direndam kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C hingga berat konstan.

3) Kondisi awal bahan pada proses optimasi variabel yang bervariasi

a) Larutan logam Cr yang digunakan adalah larutan yang mengandung logam Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.

b) Volume larutan logam Cr yang digunakan adalah 100 ml.

c) Massa bulu ayam yang digunakan adalah 3 gram.

d) Kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 250 rpm.

e) Waktu kontak yang digunakan adalah 30 menit.

4) Optimasi aktivasi bulu ayam dengan metode kimia

a) Menimbang bulu ayam sebanyak 100 gram dengan neraca analitik sebanyak 2 kali.

b) Merendam bulu ayam dengan larutan NaOH dan HCl dengan konsentrasi 1 M masing-masing sebanyak 100 gram.

c) Bulu ayam yang telah direndam kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C hingga berat konstan.

- d) Setelah kering, siapkan variasi aktivator bulu ayam masing-masing sebanyak 3 gram dari hasil aktivasi NaOH dan HCl
 - e) Masukkan bulu ayam variasi aktivator pada poin d ke dalam 100 ml larutan logam Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
 - f) Aduk campuran larutan pada poin e menggunakan *flocculator* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
 - g) Setelah diaduk, saring larutan logam Cr menggunakan *vacuum filtration*.
 - h) Larutan logam Cr yang telah disaring kemudian disalin ke dalam gelas labu dan diambil sebanyak 5 ml menggunakan pipet tetes.
 - i) Encerkan 5 ml larutan logam Cr dengan aquades di dalam labu ukur ukuran 100 ml.
 - j) Analisis hasil adsorpsi dari larutan logam Cr yang telah diencerkan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
- 5) Optimasi variasi massa bulu ayam
- a) Siapkan variasi massa bulu ayam dari hasil aktivasi optimum yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 gram.
 - b) Masukkan bulu ayam variasi massa pada poin a ke dalam 100 ml larutan logam Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
 - c) Aduk campuran larutan pada poin b menggunakan *flocculator* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
 - d) Setelah diaduk, saring larutan logam Cr menggunakan *vacuum filtration*.
 - e) Larutan logam Cr yang telah disaring kemudian disalin ke dalam gelas labu dan diambil sebanyak 1 ml menggunakan pipet tetes.
 - f) Encerkan 1 ml larutan logam Cr dengan aquades di dalam labu ukur ukuran 100 ml.
 - g) Analisis hasil adsorpsi dari larutan logam Cr yang telah diencerkan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

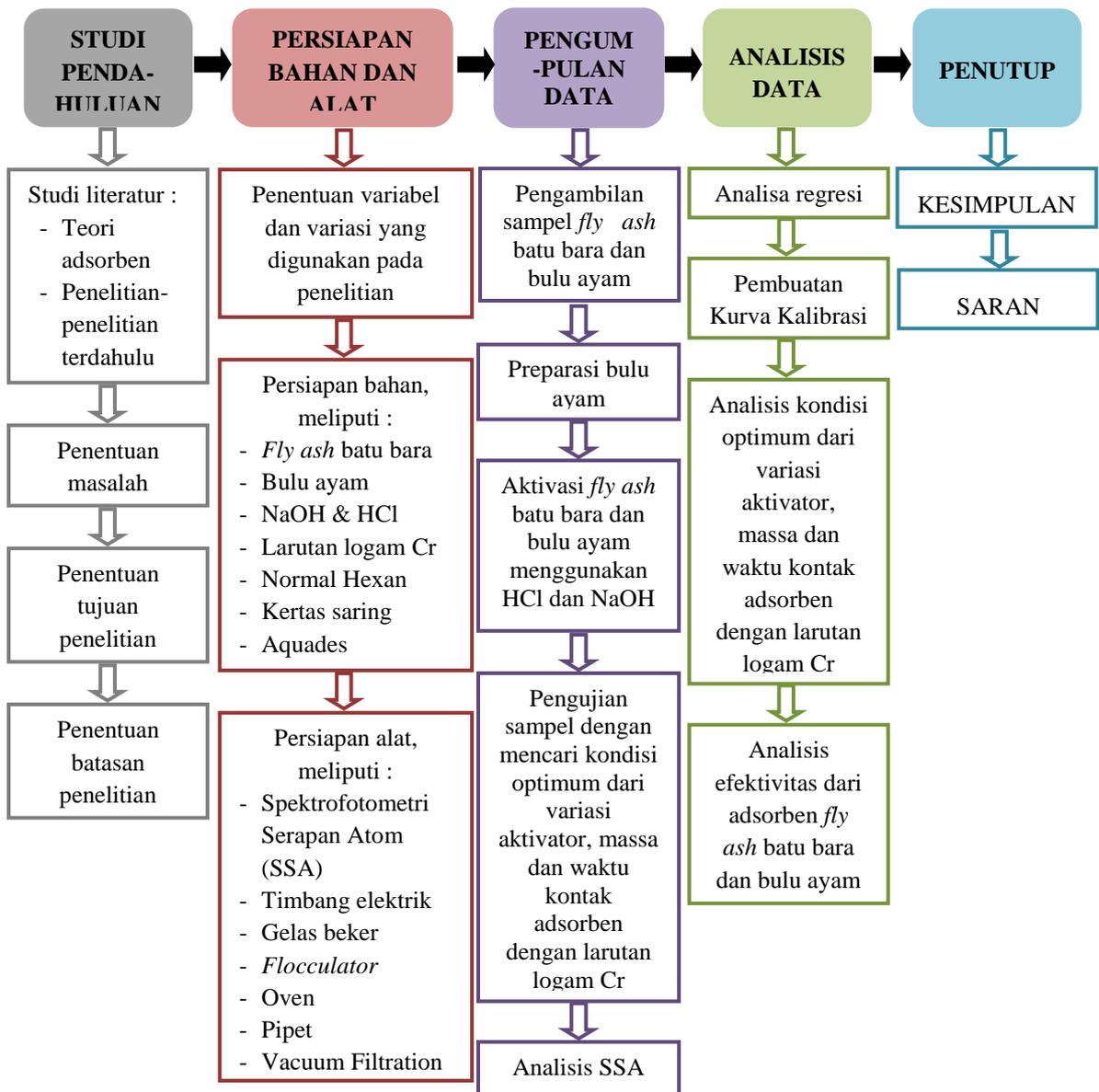
- 6) Optimasi variasi waktu kontak
 - a) Siapkan *flocculator* yang akan digunakan dengan waktu kontak 10, 20, 30, 40 dan 50 menit.
 - b) Masukkan bulu ayam dengan aktivasi dan massa optimum ke dalam 100 ml larutan Cr dengan konsentrasi 100 mg/L.
 - c) Aduk campuran larutan pada poin b) menggunakan *flocculator* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm.
 - d) Setelah diaduk, saring larutan logam Cr menggunakan *vacuum filtration*.
 - e) Larutan logam Cr yang telah disaring kemudian disalin ke dalam gelas labu dan diambil sebanyak 1 ml menggunakan pipet tetes.
 - f) Encerkan 1 ml larutan logam Cr dengan aquades di dalam labu ukur ukuran 100 ml.
 - g) Analisis hasil adsorpsi dari larutan logam Cr yang telah diencerkan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

F. Teknik Analisis

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan menganalisis efektivitas *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben dan mencari kondisi optimum adsorben dalam mengadsorpsi ion logam Cr dalam larutan dengan konsentrasi tertentu. Adapun analisis data dilakukan dengan cara kuantitatif dengan teknik analisis statistik deskriptif dimana hasil penelitian yang diperoleh dianalisis dengan kurva kalibrasi sehingga dapat diketahui besarnya konsentrasi yang terserap oleh adsorben yang selanjutnya dipaparkan dalam bentuk angka-angka beserta penjelasan mengenai data tersebut.

G. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

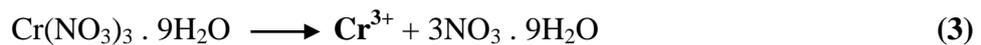
A. Gambaran Umum Penelitian

Bab ini membahas tentang studi komparatif efektivitas penyisihan ion logam kromium (Cr) oleh adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam. Adapun larutan logam Cr dibuat dengan konsentrasi yang telah ditentukan. Penelitian ini meliputi pengambilan adsorben *fly ash* batu bara di PLTU Punagaya, Kabupaten Jeneponto, pengambilan adsorben bulu ayam secara acak di Pasar Daya, Kota Makassar, preparasi bulu ayam yang digunakan sebagai adsorben, membuat larutan logam Cr, mencari pengaruh variasi aktivator, variasi massa dan variasi waktu kontak antara adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam terhadap konsentrasi logam Cr yang terserap yang selanjutnya hasil dari proses adsorpsi akan diuji menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Tabel 4. Karakteristik Larutan Logam Cr yang Digunakan dalam Penelitian

No	Karakteristik	Pengamatan
1	Fisik	
	a. Warna	Biru jernih
	b. Bau	Memiliki bau yang khas
2	c. Fase	Cair tanpa endapan
	Kimia	
	a. Konsentrasi larutan logam Cr	100 ppm

Logam Cr yang digunakan dalam penelitian ini adalah Chromium (III) nitrate nonahydrate, dengan rumus kimia pada Persamaan (3):



Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* batu bara dan bulu ayam yang merupakan limbah dari PLTU dan tempat pemotongan ayam mengingat bahwa kedua jenis biomassa ini dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Selain itu, penggunaan biomassa ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah hasil kegiatan

industri dalam mengurangi kadar logam dari air limbah yang juga merupakan hasil dari kegiatan industri.

B. Penentuan Kondisi Optimum Setiap Variasi

1. Variasi Aktivator oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Aktivasi pada adsorben dilakukan dengan tujuan menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang terbentuk pada proses aktivasi kimia serta untuk membuat beberapa pori baru sehingga adsorben mampu menyerap logam pada larutan logam Cr lebih banyak. Proses aktivasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah aktivasi kimia. Aktivasi kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori yang sulit diuapkan atau cenderung terikat kuat dari pengotor serta mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

Proses aktivasi dilakukan melalui penambahan larutan basa atau asam pada adsorben secara merata dengan pemanasan selama beberapa waktu tertentu (Nurhidayati, 2010). Adapun bahan yang dapat digunakan untuk proses aktivasi kimia seperti larutan alkali Na_2S (Latifah, 2014), larutan asam formiat HCl (Sa'adah, 2013), atau larutan alkali NaOH (Rengga, 2018).

Tabel 5. Data Kondisi Awal Adsorben dan Larutan Logam Cr yang akan Digunakan pada Variasi Aktivator

No	Aktivator	Massa (gr)	Waktu Kontak (Menit)	ol. Larutan Cr (ml)	ons. Larutan Cr (ppm)
1	OH 1 M	3	30	100	100
2	OH 1 M	3	30	100	100

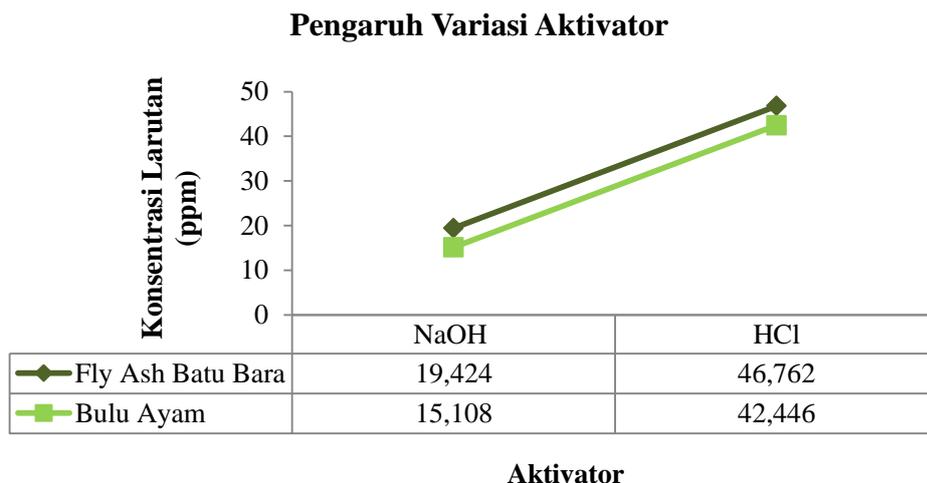
Pada penelitian ini digunakan variasi aktivator dengan menggunakan aktivator basa berupa NaOH dan aktivator asam berupa HCl. Konsentrasi dari masing-masing aktivator adalah sama, yaitu 1 Molaritas (M). Selain itu, kondisi awal dari adsorben dan larutan yang digunakan dalam menentukan variasi aktivator meliputi konsentrasi larutan logam Cr 100 ppm, volume larutan logam Cr 100 ml, massa adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam 3

gram, kecepatan pengadukan 250 rpm, dan waktu kontak selama 30 menit. Tabel 6 merupakan rekapitulasi hasil penelitian dan uji pada alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Adsorpsi pada Larutan Logam Cr oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam pada Variasi Aktivator

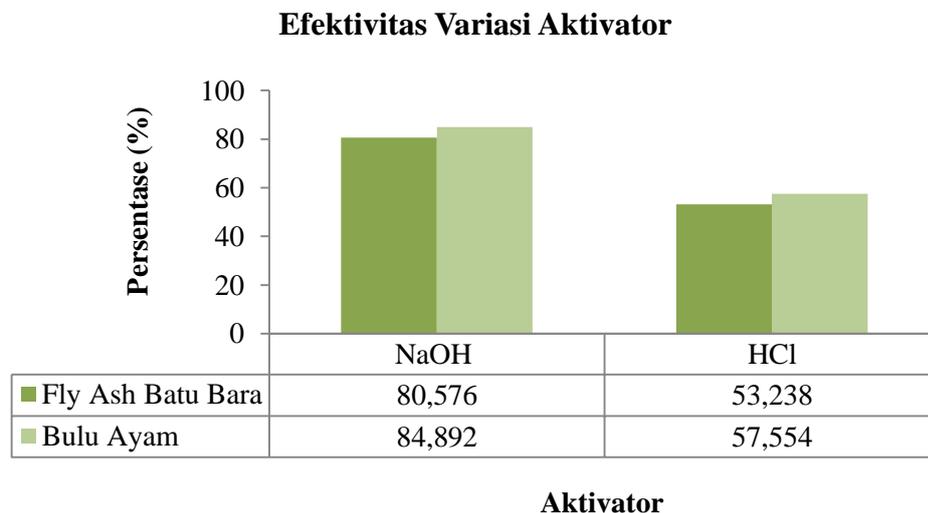
No	Adsorben	Aktivator	Kons. Awal Larutan Cr (ppm)	Kons. Akhir Larutan Cr (ppm)	Persentase Adsorpsi (%)
1	Ash Batu Bara	OH 1 M	100	19,424	80,58
		Cl 1 M	100	46,762	53,24
2	Bulu Ayam	OH 1 M	100	15,108	84,90
		Cl 1 M	100	42,446	57,55

Pada Gambar 10 menunjukkan pengaruh variasi aktivator terhadap konsentrasi larutan logam Cr dimana adsorben *fly ash* batu bara yang menggunakan aktivator NaOH mampu menurunkan kadar larutan logam Cr dari konsentrasi 100 ppm menjadi 19,424 ppm dan penggunaan aktivator HCl mampu menurunkan kadar logam Cr menjadi 46,729 ppm. Adapun adsorben bulu ayam yang menggunakan aktivator NaOH mampu menurunkan kadar larutan logam Cr dari 100 ppm menjadi 15,108 ppm dan penggunaan aktivator HCl mampu menurunkan kadar logam Cr menjadi 42,446 ppm.



Gambar 10. Grafik Pengaruh Variasi Aktivator terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Berdasarkan persentase dari efektivitas variasi aktivator pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa adsorben *fly ash* batu bara yang diaktivasi menggunakan aktivator NaOH mampu menurunkan kadar logam pada larutan logam Cr hingga 80,58% dibandingkan dengan aktivator HCl yang hanya sebesar 53,24% sedangkan adsorben bulu ayam yang diaktivasi menggunakan aktivator NaOH mampu menurunkan kadar logam pada larutan logam Cr hingga 84,90% dibandingkan dengan aktivator HCl yang hanya sebesar 57,55%, sehingga pada pengujian selanjutnya, adsorben yang digunakan pada variasi massa adalah adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam yang telah diaktivasi menggunakan larutan NaOH.



Gambar 11. Grafik Persentase Efektivitas Variasi Aktivator terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Peningkatan jumlah ion Cr^{3+} yang teradsorpsi efektif terjadi pada adsorben yang diaktivasi menggunakan NaOH daripada HCl, hal ini dikarenakan adanya pengaruh pH terhadap tingkat adsorpsi. Kecilnya persentase ion Cr^{3+} yang teradsorpsi oleh aktivator HCl disebabkan oleh protonasi yang berlebihan pada permukaan adsorben. Selain itu, pada kondisi asam, spesi ion Cr yang terbentuk dalam larutan adalah Cr^{3+} sehingga terjadi persaingan antara proton dan muatan positif dari ion Cr^{3+} di permukaan adsorben yang menyebabkan kecilnya adsorpsi ion Cr^{3+} yang terjadi.

Adsorpsi ion Cr^{3+} mengalami peningkatan pada pH basa, hal ini dikarenakan berkurangnya kompetisi diantara proton (H^+) dan ion logam bermuatan positif pada Cr^{3+} di permukaan karbon aktif yang menghasilkan tolakan rendah terhadap ion Cr^{3+} , sehingga ion logam dapat dengan mudah terserap dalam adsorben. Dalam hal ini terjadi tarik menarik antara ion logam Cr^{3+} dengan muatan negatif (OH^-) (Wijaya dan Ita, 2015).

Pada adsorben *fly ash* batu bara, hasil lain juga diperoleh Sutrisno (2014), bahwa *fly ash* batu bara yang diberi aktivator NaOH memberikan persentase penyerapan lebih besar yaitu mencapai 90% dibandingkan dengan *fly ash* batu bara yang diberi aktivator HCL. Sutrisno (2014) melakukan pengamatan terhadap *fly ash* batu bara yang dimodifikasi perendaman larutan HCL (FA-HCL) dan perendaman dengan larutan NaOH (FA-NaOH). Modifikasi dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan bahan-bahan organik pengotor yang menghambat pori-pori *fly ash* batu bara yang dapat mengurangi daya serap *fly ash* batu bara.

Pada adsorben bulu ayam, aktivasi dilakukan untuk mengaktifkan gugus protein pada bulu ayam, yaitu α -keratin yang mengandung sistin sehingga dapat menyerap lebih optimal. Aktivasi ini mengaktifkan biomassa dengan merombak struktur seratnya sehingga meningkatkan daya serap. Penelitian yang dilakukan oleh Rizkamala (2010), dimana proses aktivasi kimia pada bulu ayam menggunakan larutan NaOH bahkan menghasilkan persentase kromium hasil desorpsi sebesar 99%.

2. Variasi Massa Adsorben oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Massa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses absorpsi. Menurut Nor (2013), bertambahnya massa atau jumlah adsorben akan memperluas luas permukaan. Pada proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel ini akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan. Jika permukaan gugus aktif dari adsorben

menjadi lebih luas maka jumlah ion logam Cr yang terserap pada bulu ayam semakin banyak. Umumnya jumlah massa yang digunakan bervariasi, namun tetap harus sesuai dengan volume larutan yang akan digunakan. Apabila massa yang digunakan melebihi dari kapasitas volume larutan untuk menampung massa, maka proses adsorpsi yang terjadi bisa tidak optimal.

Tabel 7. Data Kondisi Awal Adsorben dan Larutan Logam Cr yang akan Digunakan pada Variasi Massa Adsorben

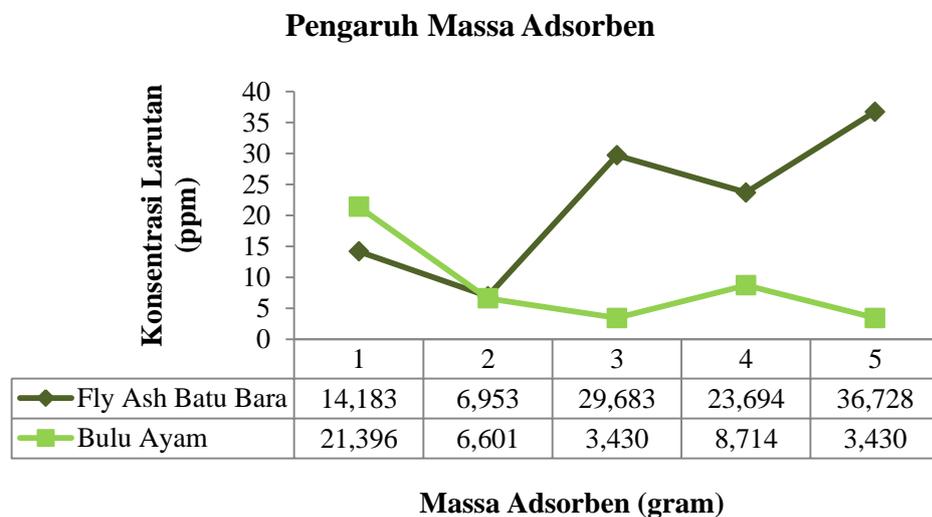
No	Massa Adsorben (gr)	Aktivator	Waktu Kontak (Menit)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Larutan Logam Cr (ppm)
1		1 .OH	30	100	100
2		2 .OH	30	100	100
3		3 .OH	30	100	100
4		4 .OH	30	100	100
5		5 .OH	30	100	100

Pada penelitian ini digunakan massa adsorben dengan variasi 1, 2, 3, 4 dan 5 gram. Adsorben yang digunakan adalah adsorben yang telah diaktivasi oleh aktivator optimum, yaitu NaOH dengan konsentrasi 1 M. Selain itu, kondisi awal dari adsorben dan larutan yang digunakan dalam menentukan variasi massa meliputi konsentrasi larutan logam Cr 100 ppm, volume larutan logam Cr 100 ml, kecepatan pengadukan 250 rpm, dan waktu kontak selama 30 menit. Tabel 8 merupakan rekapitulasi hasil penelitian dan uji pada alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Adsorpsi pada Larutan Logam Cr oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam dengan Variasi Massa Adsorben

No	Adsorben	Massa Adsorben (gram)	Kons. Awal Larutan Cr (ppm)	Kons. Akhir Larutan Cr (ppm)	Persentase Adsorpsi (%)
1.	Ash Batu Bara	1	100	14,183	85,82
		2	100	6,953	93,05
		3	100	29,683	70,32
		4	100	23,694	76,31
		5	100	36,728	63,27
2.	Bulu Ayam	1	100	21,396	78,60
		2	100	6,601	93,40
		3	100	3,430	96,57
		4	100	8,714	91,29
		5	100	3,430	96,57

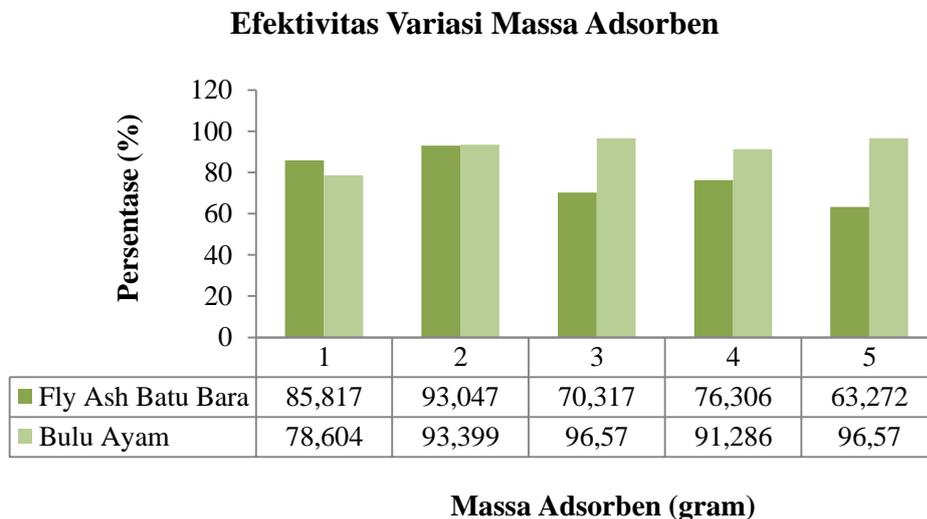
Pada Gambar 12 menunjukkan pengaruh variasi massa adsorben terhadap konsentrasi larutan logam Cr. Pada penggunaan adsorben *fly ash* batu bara, proses adsorpsi tertinggi terjadi pada penggunaan massa adsorben 2 gram dimana adsorben mampu menurunkan kadar larutan logam Cr dari konsentrasi 100 ppm menjadi 6,953 ppm sedangkan pada penggunaan adsorben bulu ayam proses adsorpsi tertinggi terjadi pada penggunaan massa 3 dan 5 gram, dimana adsorben mampu menurunkan kadar larutan logam Cr dari konsentrasi 100 ppm menjadi 3,430 ppm.



Gambar 12. Grafik Pengaruh Variasi Massa Adsorben terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Berdasarkan persentase dari efektivitas variasi massa adsorben pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa proses adsorpsi tertinggi pada penggunaan adsorben *fly ash* batu bara terjadi pada penggunaan massa 2 gram, dengan persentase efektivitas mencapai 93,05% sedangkan proses adsorpsi tertinggi pada penggunaan adsorben bulu ayam terjadi pada penggunaan massa 3 dan 5 gram, dengan persentase efektivitas mencapai 96,57% sehingga pada pengujian selanjutnya, adsorben *fly ash* batu bara menggunakan massa 2 gram dan bulu ayam menggunakan massa 3 gram, mengingat bahwa penggunaan

massa 5 gram pada adsorben bulu ayam memungkinkan terjadinya penggumpalan adsorben.



Gambar 13. Grafik Persentase Eektivitas Variasi Massa Adsorben terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Pengaruh jumlah adsorben merupakan parameter penting karena dapat menentukan kapasitas adsorben selama penambahan konsentrasi awal adsorbat. Menurut Nor (2013), semakin banyak massa adsorben maka semakin banyak logam Cr yang terserap dari larutan. Tetapi berdasarkan Gambar 12 grafik yang dihasilkan yaitu adanya naik turun nilai konsentrasi larutan yang terserap yang bertentangan dengan teori. Logam Cr teradsorpsi meningkat hingga penggunaan adsorben 2 gram oleh *fly ash* batu bara dan 3 gram oleh bulu ayam sedangkan pada massa berikutnya logam Cr teradsorpsi terjadi penurunan. Penurunan logam Cr teradsorpsi disebabkan konsentrasi logam Cr yang terserap pada permukaan abu layang lebih besar dibandingkan konsentrasi logam Cr yang tersisa dalam larutan. Perbedaan konsentrasi tersebut menyebabkan ion logam Cr^{3+} yang sudah terikat pada adsorben akan terdesorpsi kembali ke dalam larutan (Irawan, dkk, 2013). Selain terjadi desorpsi, menurut Afrianita, dkk (2014) yang juga menggunakan volume larutan 100 ml, hal ini kemungkinan disebabkan adanya *interferensi*

(gangguan) antara ruang pengikatan akibat penggumpalan adsorben terutama pada adsorben bulu ayam. Pengikatan kapasitas penyerapan berbanding terbalik dengan jumlah adsorben yang digunakan. Hal ini disebabkan karena kapasitas penyerapan mengukur banyaknya ion logam yang diserap pada setiap unit berat adsorben.

Terlepas dari gangguan yang terjadi, persentase adsorpsi oleh adsorben *fly ash* batu bara pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Afrianita, dkk (2013), yang memperoleh persentase massa adsorben optimum sebesar 74,88% dengan berat 2 gram. Adapun penggunaan adsorben bulu ayam dimana pada penelitian lain, seperti penelitian yang dilakukan oleh Rizkamala (2010), penggunaan adsorben bulu ayam dengan variasi massa adsorben mampu menurunkan konsentrasi Cr dari 100 ppm menjadi 1,67 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa persentase efektivitasnya mencapai 98,33%. Namun, massa yang digunakan hanya seberat 0,3 gram dengan volume larutan sebanyak 50 ml. Tingginya persentase efektivitas yang dihasilkan oleh penelitian ini bisa disebabkan karena tidak terjadi gangguan berupa tumbukan-tumbukan antar adsorben sehingga tidak terjadi proses desorpsi.

3. Variasi Waktu Kontak oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Seperti aktivator dan massa adsorben, waktu kontak juga merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi. Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan oleh adsorben untuk menyerap logam pada larutan logam Cr. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Waktu kontak untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Nor, 2013).

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, variasi waktu kontak menunjukkan hasil adsorpsi yang signifikan terutama oleh adsorben yang telah teraktivasi oleh aktivator, seperti pada penelitian Khumairoh (2013)

yang mampu menurunkan kadar logam sebesar 82,5%, pada penelitian Afrianita, dkk (2013) mampu menurunkan kadar logam sebesar 90,58% dan pada penelitian yang dilakukan Latifah, dkk (2014) bahkan mampu menurunkan kadar logam hingga 97,13%.

Tabel 9. Data Kondisi Awal Adsorben dan Larutan Logam Cr yang akan Digunakan pada Variasi Waktu Kontak

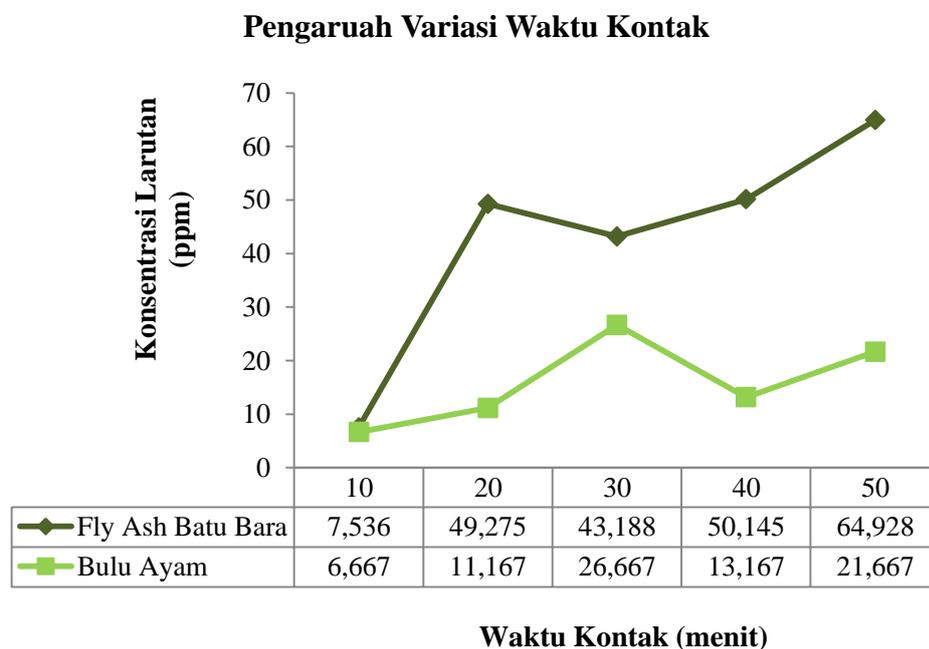
No	Waktu Kontak (Menit)	Aktivator	Massa (gr)		Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Larutan Logam Cr (ppm)
			<i>Fly Ash</i>	ulu Ayam		
1	10	OH	2	3	100	100
2	20	OH	2	3	100	100
3	30	OH	2	3	100	100
4	40	OH	2	3	100	100
5	50	OH	2	3	100	100

Pada penelitian ini digunakan waktu kontak dengan variasi 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Adsorben yang digunakan adalah adsorben yang telah diaktivasi oleh aktivator optimum, yaitu NaOH dan adsorben dengan massa optimum yaitu 2 gram untuk adsorben *fly ash* batu bara dan 3 gram untuk adsorben bulu ayam Selain itu, kondisi awal dari adsorben dan larutan yang digunakan dalam menentukan variasi massa meliputi konsentrasi larutan logam Cr 100 ppm, volume larutan logam Cr 100 ml, dan kecepatan pengadukan 250 rpm. Tabel 10 merupakan rekapitulasi hasil penelitian dan uji pada alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Adsorpsi pada Larutan Logam Cr oleh Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dengan Variasi Waktu Kontak

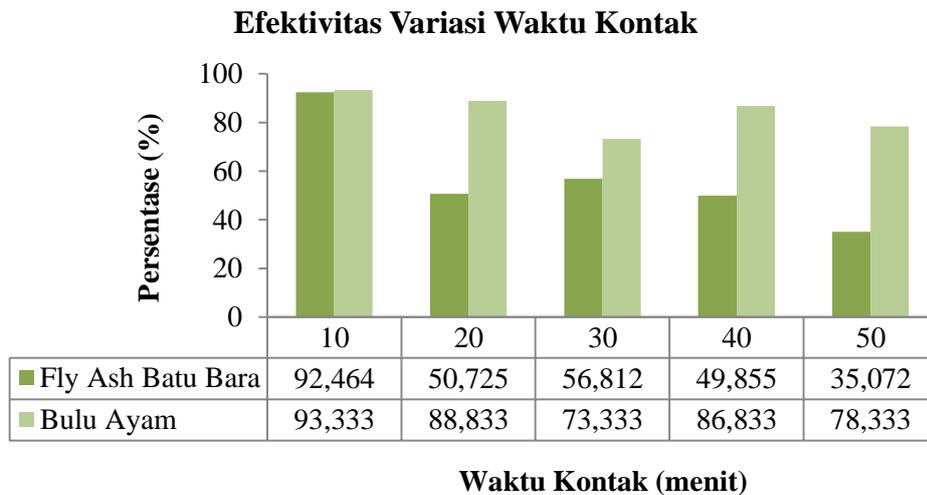
No	Adsorben	Waktu Kontak (menit)	Kons. Awal Larutan Cr (ppm)	Kons. Akhir Larutan Cr (ppm)	Persentase Adsorpsi (%)
1.	<i>Ash</i> Batu Bara	10	100	7,536	92,46
		20	100	49,275	50,73
		30	100	43,188	56,81
		40	100	50,145	49,86
		50	100	64,928	35,07
2.	ulu Ayam	10	100	6,667	93,33
		20	100	11,167	88,83
		30	100	26,667	73,33
		40	100	13,167	86,83
		50	100	21,667	78,33

Pada Gambar 14 menunjukkan pengaruh variasi waktu kontak terhadap konsentrasi larutan logam Cr. Pada penggunaan adsorben *fly ash* batu bara, adsorpsi tertinggi terjadi pada waktu 10 menit dimana adsorben mampu menurunkan kadar larutan logam Cr dari konsentrasi 100 ppm menjadi 7,536 ppm sedangkan pada penggunaan adsorben bulu ayam, adsorpsi tertinggi juga terjadi pada waktu 10 menit dimana adsorben mampu menurunkan kadar larutan logam Cr dari konsentrasi 100 ppm menjadi 6,667.



Gambar 14. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Kontak terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

Berdasarkan persentase dari efektivitas variasi waktu kontak pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa pada penggunaan adsorben *fly ash* batu bara, proses adsorpsi tertinggi terjadi pada waktu 10 menit dengan persentase efektivitas mencapai 92,46% sedangkan pada penggunaan adsorben bulu ayam, proses adsorpsi tertinggi juga terjadi pada waktu 10 menit dengan persentase efektivitas mencapai 93,33%.



Gambar 15. Grafik Persentase Eektivitas Variasi Waktu Kontak terhadap Konsentrasi Larutan Logam Cr dalam Proses Adsorpsi Menggunakan Adsorben Bulu Ayam

Berdasarkan teori semakin lama waktu kontak maka semakin banyak pula logam Cr yang terserap dari larutan yang digunakan. Namun, berdasarkan Gambar 14 grafik yang dihasilkan naik turun yang bertentangan dengan teori. Pada waktu 10 menit, kemungkinan yang terjadi adalah waktu tersebut merupakan waktu optimal dari adsorben *fly ash* batu bara yang diberikan aktivator NaOH dengan massa 2 gram dan bulu ayam dengan masa 3 gram. Pada waktu kontak selanjutnya, yaitu 20, 30, 40 dan 50 menit terjadi penurunan tingkat penyerapan yang terjadi akibat permukaan adsorben sudah terlalu jenuh dan ada kemungkinan terjadinya desorpsi.

Naik turunnya tingkat penyerapan juga disebabkan karena kondisi jenuh yang telah dicapai sebelumnya dimana hampir seluruh permukaan adsorben telah tertutup oleh partikel adsorbat yang ada. Selain itu, besarnya tingkat penyisihan pada beberapa menit pertama disebabkan karena adanya mekanisme perpindahan massa dimana ion logam banyak terakumulasi pada lapisan film adsorben dan pada waktu selanjutnya sebagian ion logam mengalami pelepasan dari permukaan adsorben sehingga efisiensi penyisihan menjadi lebih rendah dari waktu sebelumnya (Afrianita, dkk, 2013).

Nilai persentase yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan nilai yang cukup besar dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya,

seperti pada penelitian yang dilakukan Afrianita, dkk (2013) dimana waktu kontak optimum adsorben *fly ash* batu bara adalah selama 60 menit dengan nilai persentase 90,58% dan pada penelitian yang dilakukan oleh Rizkamala (2010), kemampuan adsorben bulu ayam dengan variasi waktu kontak hanya mampu menurunkan kadar logam Cr sebesar 65,45% dengan waktu kontak yang cukup lama yaitu 60 menit. Hal ini bisa disebabkan oleh penggunaan massa adsorben hanya sebanyak 0,3 gram.

C. Efektivitas dari *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam sebagai Adsorben

Berdasarkan hasil penelitian dan uji pada alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang telah dilakukan selama dua puluh empat hari, terhitung sejak pengambilan hingga pengujian sampel adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam, diketahui bahwa adsorben bulu ayam lebih efektif sebagai adsorben daripada *fly ash* batu bara dalam mengurangi kadar logam Cr dalam larutan. Adsorben bulu ayam memiliki tingkat efektivitas 91,60% sedangkan adsorben *fly ash* batu bara memiliki tingkat efektivitas 88,70%.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Absorpsi *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

No	Jenis Adsorben	Variasi	Variasi Optimum	Kons. Awal Larutan Logam Cr (ppm)	Kons. Akhir Larutan Logam Cr (ppm)	Efektivitas Adsorpsi (%)	Efektivitas Rata-Rata (%)
1	<i>Fly Ash</i> Batu bara	Aktivator	NaOH	100	19,424	80,58	88,70
		Massa Adsorben	2 gram	100	6,953	93,05	
		Waktu Kontak	10 menit	100	7,536	92,46	
2	Bulu Ayam	Aktivator	NaOH	100	15,108	84,89	91,60
		Massa Adsorben	3 gram	100	3,430	96,57	
		Waktu Kontak	10 Menit	100	6,667	93,33	

Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi proses adsorpsi oleh adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam selain aktivator, massa adsorben dan waktu kontak adalah karakteristik atau sifat fisik dari kedua adsorben tersebut yang dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Karakteristik Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam

No	Karakteristik	Adsorben	
		<i>Fly Ash</i> Batu Bara*	Bulu Ayam **
1.	Ukuran rata-rata pori	-	$1,4337 \times 10^2 \text{ \AA}$
2.	Luas permukaan	$0,2 - 0,7 \text{ m}^2/\text{g}$	$1,404 \text{ m}^2/\text{g}$ $5,034 \times 10^{-3}$
3.	Total volume pori	-	ml/g

Sumber : * Nurhayati dan Tri, 2015

** Sa'adah, dkk, 2013

Menurut Rizkamala (2011), Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan. Jadi, semakin besar luas permukaan adsorben maka penyerapan yang terjadi semakin banyak dan merata. Berdasarkan tabel 12 diketahui bahwa luas permukaan adsorben bulu ayam dua kali lebih luas daripada *fly ash* batu bara, sehingga logam Cr yang teradsorpsi oleh adsorben bulu ayam juga lebih banyak.

Selain itu, faktor jenis adsorben yang digunakan pada penelitian ini juga mempengaruhi proses adsorpsi. Adsorben *fly ash* batu bara merupakan jenis material anorganik yang bersumber dari bebatuan sedangkan adsorben bulu ayam merupakan jenis material organik yang bersumber dari makhluk hidup. Menurut Sa'adah, dkk (2013), biomassa bulu ayam digunakan sebagai adsorben karena bulu ayam mengandung keratin yang digolongkan dalam protein serat yang mengandung gugus-gugus N-H, C=O, O-H, COOH dan S-H yang juga dimiliki oleh asam humat.

Asam humat adalah senyawa organik kompleks yang dimiliki oleh material organik. Asam humat merupakan bahan makro molekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti -COOH, -OH fenolat maupun -OH

alkoholat, sehingga asam humat memiliki peluang untuk berikatan dengan ion logam Cr^{3+} karena gugus ini dapat mengalami deprotonasi (Setyowati & Ita, 2007). Deprotonasi gugus-gugus fungsional asam humat akan menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul dan meningkatkan jumlah muatan negatif gugus fungsional asam humat, sehingga akan meningkatkan gaya tolak menolak antar gugus dalam molekul asam humat. Pengaruh tersebut akan menyebabkan permukaan partikel-partikel koloid asam humat bermuatan negatif dan menjadi lebih terbuka. Asam humat merupakan makromolekul organik yang berperan dalam transport, bioavailabilitas dan dapat mengikat beberapa logam berat termasuk logam Cr^{3+} .

D. Hubungan Hasil Adsorpsi oleh *Fly Ash* Batu Bara dan Bulu Ayam Terhadap Baku Mutu

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kawasan Industri telah menetapkan bahwa kadar maksimum logam berat yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air khususnya logam Cr adalah 1 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh tingkat efektivitas proses adsorpsi sebesar 96,57% oleh adsorben bulu ayam pada penggunaan massa 3 gram dengan konsentrasi awal 100 ppm menjadi 3,340 ppm. Nilai ini merupakan nilai yang sangat signifikan dalam menurunkan kadar logam Cr yang terdapat pada air limbah. Namun, penurunan konsentrasi yang diperoleh pada penelitian ini masih berada di atas nilai standar baku mutu yang telah ditetapkan sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai proses adsorpsi menggunakan adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam agar hasil yang diperoleh memiliki nilai di bawah standar baku mutu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian yang berlandaskan pada hasil penelitian dan analisis data, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada variasi aktivator NaOH, adsorben *fly ash* batu bara mampu menurunkan konsentrasi larutan Cr dari 100 ppm menjadi 19,424 ppm dan adsorben bulu ayam menurunkan konsentrasi larutan Cr menjadi 15,108 ppm.
2. Pada variasi massa adsorben, adsorben *fly ash* batu bara dengan berat 2 gram mampu menurunkan konsentrasi larutan Cr dari 100 ppm menjadi 6,953 ppm dan adsorben bulu ayam dengan berat 3 gram mampu menurunkan konsentrasi larutan Cr menjadi 3,430 ppm. Sedangkan pada variasi waktu kontak dengan waktu kontak yang sama yaitu 10 menit, adsorben *fly ash* batu bara mampu menurunkan konsentrasi larutan Cr dari 100 ppm menjadi 7,536 ppm dan adsorben bulu ayam mampu menurunkan konsentrasi larutan menjadi 6,667 ppm.
3. Dari penggunaan *fly ash* batu bara dan bulu ayam sebagai adsorben, *fly ash* batu bara memiliki persentasi efektivitas rata-rata sebesar 88,70% sedangkan bulu ayam memiliki persentasi efektivitas rata-rata sebesar 91,60%. Dengan demikian, adsorben yang paling efektif dalam menurunkan kadar larutan logam Cr pada variasi aktivator, massa adsorben dan waktu kontak adalah adsorben bulu ayam.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi aktivator, massa adsorben dan waktu kontak, serta faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses adsorpsi seperti variasi konsentrasi larutan, pengaruh pH dan kecepatan pengadukan

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan sampel air limbah langsung dari industri yang menghasilkan limbah logam berat dan bukan hanya sekedar larutan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaplikasian adsorben *fly ash* batu bara dan bulu ayam langsung pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri atau instansi lain yang menghasilkan limbah logam berat.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan *fly ash* batu bara dan bulu ayam setelah digunakan sebagai adsorben.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiati, U.W Puastuti dan W. Mathius. 2004. Peluang Pemanfaatan Tepung Bulu Ayam sebagai Bahan Pakan Ternak Ruminansia. *Wartazoa*. 14(1): 39-44.
- Afrianita, Reri, Yommi Dewilda dan Monica Rahayu. 2014. Studi Penentuan Optimum *Fly Ash* sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Logam Berat Kromium (Cr). *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 10(2): 104-110.
- Afrianita, Reri, Yommi Dewilda dan Rafiola Fitri. 2013. Efisiensi dan Kapasitas Penyerapan *Fly Ash* sebagai Adsorben dalam Penyisihan Logam Timbal (Pb) Limbah Cair Industri Percetakan di Kota Padang. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 10(1): 1-10.
- Ahalya, N., Ramachandra, T.V., Kanamadi, R.D. 2003. Biosorption of Heavy Metals. *Journal of Chemical and Environment*.7(4),71-79.
- Anonim. 2012. *Artikel Absorbansi* (Online). (<http://birutua2012.blogspot.com/2012/09/artikel-absorbansi.html>, diakses 10 November 2019).
- Apriliani, dkk, 2014. *Makalah Logam Berat Kromium*, (Online). ([https://www.academia.edu/9187316/Makalah Kimia Logam Berat Kromium dosen pembimbing ganis fia sartika universitas riau fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam](https://www.academia.edu/9187316/Makalah_Kimia_Logam_Berat_Kromium_dosen_pembimbing_ganis_fia_sartika_universitas_riau_fakultas_matematika_dan_ilmu_pengetahuan_alam) , diakses 8 September2019).
- Asmadi, Endro. S dan W. Oktiawan. 2009. Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH dan NaHCO₃ (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang). *JAI*. 5(1): 41-54.
- Azizah, Andryana Nur. 2017. *Pengaruh Waktu AKtivasi Kimia dalam Pembuatan Adsorben dari Bulu Ayam terhadap Daya Serap pada Logam Crom*. Skripsi tidak diterbitkan. Samarinda: Politeknik Negeri Samarinda.
- Elfia N., Suciati W., dan Nugroho M., 2002. *Pengaruh Penggunaan Tepung Bulu dan Papain dalam Pakan Ayam Broiller*, Laporan Penelitian tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Ilmu Ternak Universitas Brawijaya.
- Fajrianti, Hana, Wiharyanto Oktiawan dan Irawan Wisnu Wardhana. 2016. Pengaruh Waktu Perendaman dalam Aktivator NaOH dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Krom Total (Cr) dan Seng (Zn) pada Limbah Cair Industri Elektroplanting dengan Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(1): 1-9.
- Hadiyanto, Andri CK dan Moh. Djaeni. 2001. Parameter K_{ga} – Enhancement Factor dalam Sistem Absorpsi Gas CO₂ dengan Larutan NaOH. *Reaktor*. 5(1): 27-36.

- Haris, Andi Fharadyba, 2015. *Makalah Unsur Trasisi Pertama Kromium*, (Online). (https://www.academia.edu/35832869/Kromium_Cr), diakses 8 September 2019).
- Haryani, K, dkk, 2007. Pembuatan Khitosan dari Kulit Udang Untuk Mengadsorpsi Logam Krom (Cr^{6+}) dan Tembaga (Cu). *Reaktor*. 11 (2) : 86-90.
- Irawan, Candra, Basri Dahlan dan Nawang Retno. 2013. Pengaruh Massa Adsorben, Lama Kontak dan Aktivasi Adsorben Menggunakan HCl Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat (Fe) dengan Menggunakan Abu Layang sebagai Adsorben. *Jurnal Teknologi Terpadu*. 2(3): 107-116.
- Kartohardjono, Sutrasno. M. Ali Lukman dan G.P. Manik. 2008. *Penentuan Kulit Batang Jambu Biji (Psidium guajava) untuk Adsorpsi Cr (VI) dari Larutan*, (Online). (<http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/11/92eb8f9ca6cc7f96543eec13c680c68b6d9d85aa.pdf>), diakses 8 September 2019).
- Khumairoh, Wilda, Rum Hastuti dan Abdul Haris. 2013. Pengaruh Penambahan Asam Askorbat pada Bulu Ayam sebagai Adsorben Terhadap Kemampuan Adsorpsi Ion Logam Kadmium (Cd^{2+}) dalam Larutan. *Chem Info*. 1(1): 369-377.
- Latifah, Rais Nur, dkk. 2014. *Pemanfaatan α -Keratin Bulu Ayam sebagai Adsorpsi Ion Pb dalam Limbah Tekstil*. Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret
- Lestari, Yuliani Tri, 2013. *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Adsorben untuk Penentuan Kadar Gas NO₂ di Udara*. Skripsi tidak diterbitkan. Jember: Jurusan Kimia, Universitas Jember.
- Mufrodi, Zahrul, Nur Widiastuti dan Ranny Cintia Kardika. 2008. Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. 22 November.
- Ni'mah, Yatim Lailun dan Ita Ulfin. 2007. Penurunan Kadar Tembaga dalam Larutan dengan Menggunakan Biomassa Bulu Ayam. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. *Akta Kimindo*. 2, (1): 57-66.
- Nor, Fahrizal. 2013. *Sintesis Biomassa Bulu Ayam Teraktivasi NaOH/Na₂SO₃ sebagai Penurun Kadar Logam Tembaga dalam Larutan*. Skripsi tidak diterbitkan. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Novia, Umi Athiyah dan Elfa Susanty. 2015. Pembuatan Adsorben dari Fly Ash Hasil Pembakaran Batubara untuk Mengadsorpsi Logam Besi (Fe). *Jurnal Teknik Kimia*.

- Nurhayati, Chasri dan Tri Susanto. 2015. Pemanfaatan *Fly Ash* Batu Bara sebagai Bahan Membran Keramik pada Unit Pengolah Air Gambut. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 26(2): 95-105.
- Nurhayati, Nanik Dwi dan Shinta Yuli. 2013. *Aktivasi dan Karakterisasi Fly Ash sebagai Material Adsorben Limbah Timbal*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional dan Pendidikan Kimia V di PMIPA FKIP IMS, 6 April 2013.
- Nurhidayati. (2010). *Pemanfaatan Karbon Aktif Pasar Kayu Sengon sebagai Absorben Logam Berat Cu pada Limbah Simulasi Cu*. Skripsi tidak diterbitkan. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kawasan Industri*. 2010. Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup
- Poernomo, Herry. (2009). Karakteristik Fisik Partikel Nano Abu Layang sebagai Bahan Urug pada Penyimpanan Limbah Radioaktif. [Versi Elektronik]. *Indo. J. Chem*, 9 (1), 28-36.
- Purnamasari, Indah Wahyu. 2016. *Adsorpsi-Desorpsi Monologam dan Multilogam Ion Ni (II), Cd (II) dan Cu (II) oleh Material Biomassa Alga Nitzschia sp yang Dimodifikasi dengan Pelapisan Silika-Magnetit (Fe₃O₄)*. Skripsi tidak diterbitkan. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Rengga, Wara Dyah Pita, dkk. 2018. Kesetimbangan dan Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal menggunakan Protein Keratin dari Bulu Ayam Pedaging (*Gallus Domesticus*). *Jurnal Kompetensi Teknik*. 10(1): 59-65.
- Rizkamalia. 2011. *Adsorpsi Ion Logam Cr (Total) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam menggunakan Bulu Ayam*. Skripsi tidak diterbitkan. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sa'adah, Nailys, Rum Hastuti dan Nor B.A. Prasetya. 2013. Pengaruh Asam Formiat pada Bulu Ayam sebagai Adsorben terhadap Penurunan Kadar Larutan Zat Warna Tekstil *Remazol Golden Yellow RNL*. *Chem Info*. 1(1): 202-209.
- Setyabudi, Rizki Bagus. 2015. *Aktivitas Keratinolitik Aspergillus niger pada Tepung Bulu Ayam Menggunakan Solid State Fermentation (SSF)*. Skripsi tidak diterbitkan. Jember: Universitas Jember.
- Setyowati, D. & I. Ulfin. 2007. Optimasi Kondisi Penyerapan Ion Aluminium oleh Asam Humat. *Jurnal Akta Kimindo*. 2(2): 85-92.
- Slamet. 2005. Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr⁶⁺ atau Pt⁴⁺) Secara Simultan dengan Fotokatalis TiO₂, ZnO-TiO₂, dan CdS-TiO₂. *Makara, Teknologi*. 9, (2): 66-71.

- Sutrisno, Bachrun, Arif Hidayat dan Zahrul Mufrodi. 2014. Modifikasi Limbah Abu Layang menjadi Adsorben untuk Mengurangi Limbah Zat Warna pada Industri Tekstil. *Jurnal Chemica*. 1(2): 57-66.
- Utami, Resti Puteri, Rum Hastuti dan Khabibi. 2015. Pengaruh H₂SO₄ pada PVA dalam Modifikasi Tongkol Jagung-Bulu Ayam sebagai Adsorben Campuran Logam Pb(II) dan Cd(II). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 18(2): 44-49.
- Wardani, Letdo Desisandi Kusuma. 2018. *Karakteristik Fly Ash Batubara sebagai Material Adsorben pada Limbah Cair yang Mengandung Logam*. Skripsi tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wijaya, Vella Carella dan Ita Ulfin. 2015. Pengaruh pH pada Adsorpsi Ion Cd²⁺ dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (*Samanea saman*). *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 4(2): C86-C89.
- Zaini, Halim dan Muhammad Sami. 2016. *Kinetika Adsorpsi Pb(II) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah*. Jurnal disajikan dalam Seminar Nasional Sains dan Teknologi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 8 November 2016.
- Zulkifli, Hilda. 2009. Pemanfaatan Limbah Padat (fly Ash) untuk Mencegah Cemaran Mikrobiologis dan Kimiawi Sampah Kota pada Ekosistem Rawa. *Jurnal Biosfera*. 26(2): 65-70.

LAMPIRAN

Lampiran I : Aktivitas pada Penelitian



Pencucian bulu ayam menggunakan air bersih



Pencucian bulu ayam menggunakan detergen



Menjemur bulu ayam di bawah sinar matahari langsung



Penimbangan adsorben



Pencampuran larutan logam cr dengan adsorben



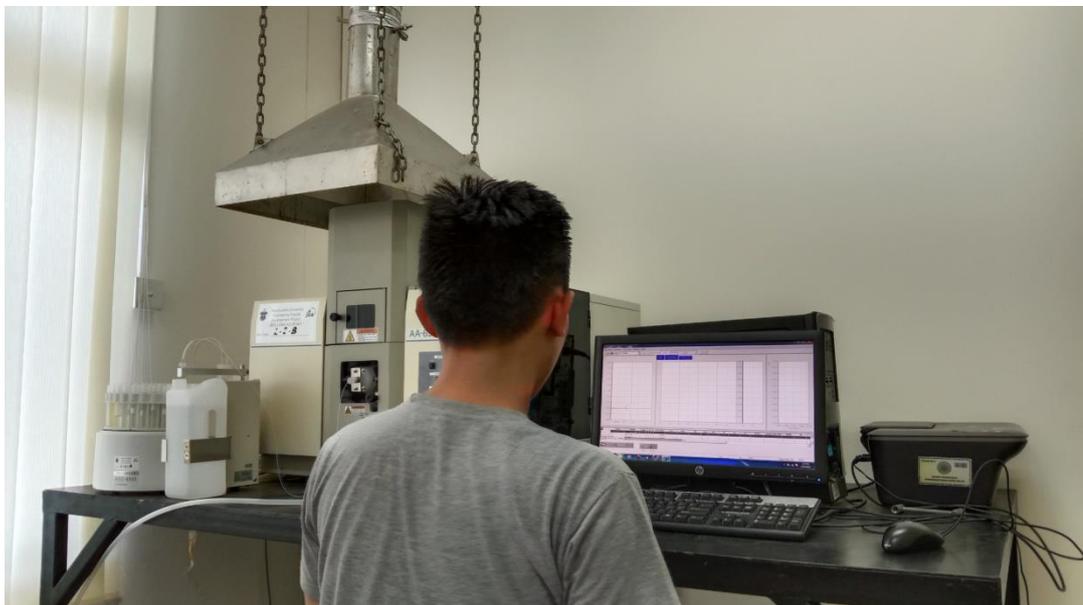
Pengadukan adsorben dengan larutan logam cr menggunakan *flocculator*



Penyaringan larutan logam Cr dari adsorben menggunakan kertas saring



Pengenceran larutan logam Cr



Analisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Lampiran II : Analisis Perhitungan

A. Pembuatan Larutan

a. Larutan Logam Cr 1000 ppm dari $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$

$$\text{Konsentrasi Cr} = \frac{Ar \text{ Cr}}{Mr \text{ Cr}(\text{NO}_3)_3} \times \frac{mg \text{ Cr}}{V_{\text{larutan}}}$$

$$100 \text{ ppm} = \frac{3 \times 51,996}{238,008} \times \frac{mg \text{ Cr}}{0,1 \text{ L}}$$

$$\text{Mg Cr}(\text{NO}_3)_3 = 100 \text{ ppm} \times 0,1 \text{ L} \times \frac{238,008}{155,988}$$

$$\text{Mg Cr}(\text{NO}_3)_3 = 1373,07 \text{ mg}$$

$$= 1,3731 \text{ mg}$$

- Pembuatan larutan Cr 1000 ppm dari $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ditimbang 1,3731 kemudian dilarutkan ke dalam labu ukur 100 ml menggunakan aquadest, lalu diimpitkan hingga tanda tera.

b. Larutan Standar Cr 100 ppm

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$100 \text{ ml} \times 100 \text{ ppm} = V_2 \times 1000 \text{ pmm}$$

$$V_2 = \frac{10.000}{1000} = 10 \text{ ml}$$

c. Pembuatan Larutan Standar 1 ppm

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$50 \text{ ml} \times 1 \text{ ppm} = V_2 \times 100 \text{ pmm}$$

$$V_2 = \frac{50}{100} = 0,5 \text{ ml}$$

d. Pembuatan Larutan Standar 2 ppm

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$50 \text{ ml} \times 2 \text{ ppm} = V_2 \times 100 \text{ pmm}$$

$$V_2 = \frac{100}{100} = 1 \text{ ml}$$

e. Pembuatan Larutan Standar 3 ppm

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$50 \text{ ml} \times 3 \text{ ppm} = V_2 \times 100 \text{ pmm}$$

$$V_2 = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ ml}$$

B. Efektivitas Adsorpsi

1. Variasi Aktivator

a. Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

$$\begin{aligned} \text{Aktivator NaOH} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{100 \text{ ppm} - 19,424}{100} \times 100\% \\ &= 0,8058 \times 100\% \\ &= 80,58\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aktivator HCl} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{100 \text{ ppm} - 46,762}{100} \times 100\% \\ &= 0,5324 \times 100\% \\ &= 53,24\% \end{aligned}$$

b. Adsorben Bulu Ayam

$$\begin{aligned} \text{Aktivator NaOH} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{100 \text{ ppm} - 15,108}{100} \times 100\% \\ &= 0,8489 \times 100\% \\ &= 84,89\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aktivator HCl} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{100 \text{ ppm} - 42,446}{100} \times 100\% \\ &= 0,5755 \times 100\% \\ &= 57,55\% \end{aligned}$$

2. Variasi Massa Adsorben

a. Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

$$\text{Massa 1 gram} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 14,183}{100} \times 100\%$$

$$= 0,8582 \times 100\%$$

$$= 85,82\%$$

Massa 2 gram

$$= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 6,953}{100} \times 100\%$$

$$= 0,9305 \times 100\%$$

$$= 93,05\%$$

Massa 3 gram

$$= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 29,683}{100} \times 100\%$$

$$= 0,7032 \times 100\%$$

$$= 70,32\%$$

Massa 4 gram

$$= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 23,694}{100} \times 100\%$$

$$= 0,7631 \times 100\%$$

$$= 76,31\%$$

Massa 5 gram

$$= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 36,728}{100} \times 100\%$$

$$= 0,6327 \times 100\%$$

$$= 63,27\%$$

b. Adsorben Bulu Ayam

Massa 1 gram

$$= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 21,396}{100} \times 100\%$$

$$= 0,7860 \times 100\%$$

$$= 78,60\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 2 gram} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal}-\text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm}-6,601}{100} \times 100\% \\
 &= 0,9340 \times 100\% \\
 &= 93,40\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 3 gram} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal}-\text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm}-3,430}{100} \times 100\% \\
 &= 0,9657 \times 100\% \\
 &= 96,57\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 4 gram} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal}-\text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm}-8,714}{100} \times 100\% \\
 &= 0,9129 \times 100\% \\
 &= 91,29\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 3 gram} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal}-\text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm}-3,430}{100} \times 100\% \\
 &= 0,9657 \times 100\% \\
 &= 96,57\%
 \end{aligned}$$

3. Variasi Waktu Kontak

a. Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu 10 menit} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal}-\text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm}-7,536}{100} \times 100\% \\
 &= 0,9246 \times 100\% \\
 &= 92,46\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu 20 menit} &= \frac{\text{Konsentrasi Awal}-\text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm}-49,275}{100} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 0,5072 \times 100\%$$

$$= 50,72\%$$

$$\text{Waktu 30 menit} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 43,188}{100} \times 100\%$$

$$= 0,5681 \times 100\%$$

$$= 56,81\%$$

$$\text{Waktu 40 menit} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 50,145}{100} \times 100\%$$

$$= 0,4985 \times 100\%$$

$$= 49,85\%$$

$$\text{Waktu 50 menit} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 64,928}{100} \times 100\%$$

$$= 0,3507 \times 100\%$$

$$= 35,07\%$$

b. Adsorben Bulu Ayam

$$\text{Waktu 10 menit} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 6,667}{100} \times 100\%$$

$$= 0,9333 \times 100\%$$

$$= 93,33\%$$

$$\text{Waktu 20 menit} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 \text{ ppm} - 11,167}{100} \times 100\%$$

$$= 0,8883 \times 100\%$$

$$= 88,33\%$$

$$\text{Waktu 30 menit} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \text{ ppm} - 26,667}{100} \times 100\% \\
 &= 0,7333 \times 100\% \\
 &= 73,33\%
 \end{aligned}$$

Waktu 40 menit

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm} - 13,167}{100} \times 100\% \\
 &= 0,8683 \times 100\% \\
 &= 86,83\%
 \end{aligned}$$

Waktu 50 menit

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{100 \text{ ppm} - 21,667}{100} \times 100\% \\
 &= 0,7833 \times 100\% \\
 &= 78,33\%
 \end{aligned}$$

Lampiran III : Rekapitulasi Hasil Uji Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan Analisis Perhitungan

A. Variasi Aktivator

1. Adsorben *Fly Ash* Batubara

No	Aktivator	Massa (gr)	Waku kontak (menit)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	NaOH	3	30	100	19,424	80,58
2	HCl	3	30	100	46,762	53,24

2. Adsorben Bulu Ayam

No	Aktivator	Massa (gr)	Waku kontak (menit)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	NaOH	3	30	100	15,108	84,89
2	HCl	3	30	100	42,446	57,55

B. Variasi Massa Adsorben

1. Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

No	Massa (gr)	Aktivator	Waku kontak (menit)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	1	NaOH	30	100	14,183	85,82
2	2	NaOH	30	100	6,953	93,05
3	3	NaOH	30	100	29,683	70,32
4	4	NaOH	30	100	23,694	76,31
5	5	NaOH	30	100	36,728	63,27

2. Adsorben Bulu Ayam

No	Massa (gr)	Aktivator	Waku kontak (menit)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	1	NaOH	30	100	21,396	78,60
2	2	NaOH	30	100	6,601	93,40
3	3	NaOH	30	100	3,43	96,57
4	4	NaOH	30	100	8,714	91,29
5	5	NaOH	30	100	3,43	96,57

C. Variasi Waktu Kontak

1. Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

No	Waktu kontak (menit)	Aktivator	Massa (gr)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	10	NaOH	2	100	7,536	92,46
2	20	NaOH	2	100	49,275	50,72
3	30	NaOH	2	100	43,188	56,81
4	40	NaOH	2	100	50,145	49,85
5	50	NaOH	2	100	64,928	35,07

2. Adsorben Bulu Ayam

No	Waktu kontak (menit)	Aktivator	Massa (gr)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	10	NaOH	3	100	6,667	93,33
2	20	NaOH	3	100	11,167	88,83
3	30	NaOH	3	100	26,667	73,33
4	40	NaOH	3	100	13,167	86,83
5	50	NaOH	3	100	21,667	78,33

