

**KARAKTERISTIK FLY ASH (ABU LAYANG) BATUBARA
SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN PADA LIMBAH CAIR
YANG MENGANDUNG LOGAM**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:
Letdi Desisandi Kusuma Wardani
14306141009

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

KARAKTERISTIK *FLY ASH* (ABU LAYANG) BATUBARA SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN PADA LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM

Oleh:
Letdi Desisandi Kusuma Wardani
14306141009

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* yang berasal dari limbah batubara sebagai material adsorben terhadap kandungan logam pada limbah cair, mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai material adsorben terhadap total zat padat terlarut (TDS) pada limbah cair, serta mengetahui karakteristik (struktur kristal dan kandungan mineral) *fly ash* sesudah mengalami aktivasi dalam keadaan optimum.

Penelitian ini dimulai dengan aktivasi sampel *fly ash*. Aktivasi *fly ash* batubara dilakukan dengan dua metode, yaitu metode kimia dalam suasana basa menggunakan larutan NaOH dan metode fisika dengan cara pemanasan. Aktivasi kimia dilakukan dengan merefluks 50 gr *fly ash* dengan 100 ml larutan NaOH 1 M, 1,5 M dan 3 M pada suhu 90°C selama 1 jam. Kemudian aktivasi fisika dengan memanaskan residu *fly ash* hasil aktivasi kimia pada variasi suhu 373°K, 393°K dan 413°K selama 1 jam. *Fly ash* yang telah diaktivasi kemudian dimasukkan kedalam limbah cair. Limbah cair tersebut kemudian diuji dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi logam, dan diuji dengan TDSmeter untuk mengetahui total zat padat terlarut. Menentukan adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi, kemudian dikarakterisasi dengan XRD.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan ion logam Fe pada limbah cair artifisial setelah diadsorbsi memiliki konsentrasi Fe paling kecil sebesar ($0,31 \pm 0,04$) ppm dengan efisiensi penghilang ($86,9 \pm 0,9$) % dan limbah cair PDAM Tirta Wijaya setelah diadsorbsi memiliki konsentrasi Fe paling kecil sebesar ($0,00 \pm 0,04$) ppm dengan efisiensi penghilang ($100 \pm 195,3$) %. Pada kandungan logam Cu pada limbah cair *electroplating* setelah diadsorbsi memiliki konsentrasi Cu paling kecil sebesar ($12,25 \pm 0,04$) ppm dengan efisiensi penghilang ($0,55 \pm 0,4$) %. *Fly ash* teraktivasi juga dapat berpengaruh terhadap total zat padat terlarut. Hasil pengukuran total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial memiliki nilai TDS paling kecil sebesar ($923,0 \pm 0,5$) ppm dan limbah cair PDAM Tirta Wijaya memiliki nilai TDS paling kecil sebesar ($47,0 \pm 0,5$) ppm. Pada limbah cair *electroplating* memiliki nilai TDS paling kecil sebesar ($1130,0 \pm 0,5$) ppm. Karakterisasi XRD *fly ash* sebelum dan sesudah diaktivasi menunjukkan bahwa aktivasi *fly ash* tidak merubah struktur kristal yaitu berbentuk heksagonal. Kandungan mineral paling dominan setelah *fly ash* diaktivasi yaitu tersusun atas mineral quarts (SiO_2).

Kata Kunci: *Fly ash*, aktivasi kimia, aktivasi fisika, limbah cair dan logam

THE CHARACTERISTICS OF FLY ASH (ASH LAYANG) COAL AS THE ADSORBENT MATERIAL ON LIQUID WASTE CONTAINING METAL

By:
Letdi Desisandi Kusuma Wardani
14306141009

ABSTRACT

The purpose of this research is to know fly ash from coal waste as an adsorbent material to metal substance in liquid waste, to know fly ash as adsorbent to total dissolved substance (TDS) in liquid waste, as well as knowing the characteristics (crystal structure and mineral content) fly ash after activation in an optimum experience.

This research begins with the activation of fly ash samples. Activation of fly ash coal is done by two methods, namely chemical method in alkaline atmosphere using NaOH solution and physics method by way of heating. Chemical activation was carried out by refluxing 50 gr fly ash with 100 ml of 1 M, 1.5 M and 3 M NaOH solution at 90 ° C for 1 h. Then physics activation by heating fly ash residue of chemical activation result at temperature variation 373°K, 393°K dan 413°K for 1 hour. Fly ash that has been activated then put into liquid waste. The liquid waste was then tested with AAS to determine the metal concentration and tested with TDSmeter to determine the total dissolved solid. Determining the fly ash adsorbent is best in adsorbing, then characterized by XRD.

The results showed that Fe metal content in artificial liquid after absorption had the smallest Fe ($0,31 \pm 0,04$) ppm with removal efficiency 86,91% and PDAM Tirta Wijaya wastewater after adsorbed to have the smallest Fe Fe concentration ($-0,00 \pm 0,04$) ppm with a 100% removal efficiency. In the Cu metal content in the electroplating liquid waste after adsorption has the least Cu concentration of ($12,25 \pm 0,04$) ppm with a 0.55% removal efficiency. Fly ash activated can also affect the total dissolved solids. The result of measurement of total dissolved solid in artificial wastewater has the smallest TDS value ($923,0 \pm 0,5$) ppm and PDAM Tirta Wijaya wastewater has the smallest TDS value ($47,0 \pm 0,5$) ppm. In electroplating liquid waste has the smallest TDS value of ($1130,0 \pm 0,5$) ppm. Characterization of fly ash XRD before and after activation showed that fly ash activation did not alter the crystal structure that is hexagonal. Mineral content is most dominant after fly ash is activated is composed of mineral quarts (SiO₂).

Keywords: Fly ash, chemical activation, physical activation, liquid and metal wastes

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

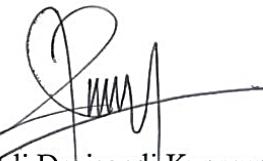
Nama : Letdi Desisandi Kusuma Wardani
NIM : 14306141009
Program Studi : Fisika
Judul TAS : **Karakteristik Fly ash (Abu Layang) Batubara sebagai Material Adsorben pada Limbah Cair yang Mengandung Logam**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil penelitian dan karya saya sendiri, serta sepanjang sepengetahuan saya tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau telah dipergunakan dan diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas ini, kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 9 Juli 2018

Yang menyatakan,



Letdi Desisandi Kusuma Wardani
NIM. 14306141009

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

KARAKTERISTIK FLY ASH (ABU LAYANG) BATUBARA SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN PADA LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM

Disusun oleh:

Letdi Desisandi Kusuma Wardani
14306141009

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk
dilaksanakan Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang
bersangkutan.

Yogyakarta, 13 Juli 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 19640205199101 1001

Disetujui,
Dosen Pembimbing



Rita Prasetyowati, S.Si, M.Si
NIP. 198007282006042001

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

KARAKTERISTIK FLY ASH (ABU LAYANG) BATUBARA SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN PADA LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM

Disusun oleh:

Letdi Desisandi Kusuma Wardani
NIM. 14306141009

Telah dipertahankan di depan Dewan Pengaji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal 23 Juli 2018

Dewan Pengaji

Nama

Jabatan

Tanda tangan

Tanggal

Rita Prasetyowati, S.Si., M.Si.
NIP. 198007282006042001

Ketua Pengaji

25 Juli 2018

Dr. Kuncoro Asih N, M.Pd., M.Sc. Pengaji Utama
NIP. 197706152002121003

25 Juli 2018

Laila Katriani, S.Si., M.Si.
NIP. 198504152012122001

Pengaji

Pendamping

25 Juli 2018

Yogyakarta, 25 Juli 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,

Dr. Hartono



MOTTO

“Jika orang lain bisa, pasti kamu juga bisa, jangan pesimis” – Ayahanda (Ngadisan)

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah” – Lessing

“Maka ketika kamu telah menyelesaikan suatu pekerjaan, bersegeralah untuk menyelesaikan pekerjaan yang lain.” (Q.S. Al-Insyirah: 7)

HALAMAN PERSEMBAHAN

1. Teruntuk Bapakku sayang Ngadisan dan Ibuku sayang Dwi Wahyuni yang selalu menyayangi adek (Letdi) sejak kecil, terimakasih atas *support* dalam bentuk doa, kasih sayang dan materi.
2. Teruntuk mbah uti dan mbah kakung di dunia maupun di akhirat, termakasih doa-doanya yang tidak pernah putus, semoga bangga mempunyai cucu letdi.
3. Teruntuk Masku Sandi Aji Wahyu Utomo terimakasih selalu menjadi kakak yang selalu menyayangi serta menjadi sahabat sejak kecil.
4. Teruntuk Mbaku Selviana Susanti terimakasih telah menjadi kakak yang baik serta selalu bikin adek *happy*.
5. Sahabatku semua, terimakasih atas dukungan moral kalian dan kebahagian selama ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi **“Karakteristik Fly Ash (Abu Layang) Batubara sebagai Material Adsorben pada Limbah Cair yang Mengandung Logam”** ini dengan baik. Dalam penyusunan tugas akhir skripsi ini diperoleh banyak pengalaman dan wawasan baru bagi penulis, demikian pula bagi para pembaca.

Keberhasilan penyusunan tugas akhir skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak yang telah membantu memberikan dorongan serta arahan demi terselesainya tugas akhir skripsi ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA UNY atas pemberian fasilitas dan bantuan untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi.
3. Bapak Nur Khadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta, yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi.
4. Ibu Rita Prasetyowati, S.Si, M.Si., selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing, memberi saran, masukan, arahan, petunjuk dan diskusi, sehingga penelitian ini berhasil terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Yosi Apriansari, M.Si., selaku Penasehat Akademik yang senantiasa memberi bimbingan dan arahan.

6. Pengelola PLTU Cilacap, yang telah membantu dalam proses pengambilan *fly ash* (abu layang).
7. Petugas PDAM Tirtawijaya Cilacap, yang telah membantu dalam proses pengambilan limbah cair.
8. Segenap Dosen dan Karyawan FMIPA UNY, yang telah membantu.
9. Ayah dan Ibu yang selalu memberikan dukungan moral maupun material dan membimbing dengan penuh kasih sayang.
10. Kedua Mbah Kakung dan Mbah Utji, yang telah memberikan kasih sayang.
11. Mas Sandi Aji dan Mba Selviana Susanti, kakakku yang selalu menyayangiku.
12. Ratih dan Siti selaku partner skripsi, sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
13. Sahabatku Uni, Kamila, Ratih dan Adita, teman berbagi selama ini.
14. Teman-teman Fisika B 2014, yang memberi semangat dan inspirasi.

Kami berharap bahwa tulisan ini dapat memberikan inspirasi bagi para pembaca. Jika terdapat kesalahan dalam penulisan karya ini, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya. Atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.

Yogyakarta, 9 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
ABSTRAK	ii
SURAT PERNYATAAN	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Deskripsi Teori.....	7
1. Fly Ash (Abu Layang) Batubara.....	7
2. <i>Fly Ash</i> (Abu Layang) Batubara Sebagai Adsorben.....	10
3. Adsorbsi.....	11
4. Sistem Adsorbsi <i>Batch</i>	13
5. Adsorben.....	14

6. Proses Aktivasi.....	15
7. Limbah Logam.....	16
8. Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).....	18
9. TDS (Total Dissolved Solid).....	21
10. XRD (X-Ray Diffraction).....	23
11. Kristal.....	24
B. Kerangka Berpikir.....	27
BAB III METODE PELAKSANAAN.....	29
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	29
C. Variabel Penelitian.....	31
D. Jenis Penelitian.....	32
E. Teknik Pengambilan Data.....	32
F. Teknik Analisis Data.....	35
G. Diagram Alir Tahap Penelitian	37
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	38
A. Hasil Uji AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer).....	39
B. Hasil Uji TDS meter	46
C. Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
A. Kesimpulan	59
B. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan mineral <i>Fly Ash</i>	9
Tabel 2. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais	27
Tabel 3. Konsentrasi Fe dan Jumlah Fe Teradsorbsi pada Limbah Cair Artifisial	40
Tabel 4. Konsentrasi Fe dan Jumlah Fe Teradsorbsi pada Limbah Cair PDAM.....	42
Tabel 5. Konsentrasi Cu dan Jumlah Cu Teradsorbsi pada Limbah Cair	44
Tabel 6. Total Zat Padat Terlarut (TDS) pada Limbah Cair Artifisial.....	47
Tabel 7. Total Zat Padat Terlarut (TDS) pada Limbah Cair PDAM Tirta Wijaya	48
Tabel 8. Total Zat Padat Terlarut (TDS) pada Limbah Cair Elektroplating	50
Tabel 9. Hasil Analisis Kandungan mineral <i>Fly Ash</i> Batubara Murni.....	57
Tabel 10. Hasil Analisis Kandungan mineral <i>Fly Ash</i> Teraktivasi	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Fly Ash</i> PLTU Cilacap	8
Gambar 2. Komponen-komponen spektrofotometer serapan atom	20
Gambar 3. TDS Meter.....	22
Gambar 4. Kondisi <i>Interferensi Konstruktif</i>	24
Gambar 5. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal	25
Gambar 6. Sel Unit dan Empat Belas Kisi Bravais.....	26
Gambar 7. Diagram Alir Tahap Penelitian	38
Gambar 8. Fly Ash Sebelum Diaktivasi.....	39
Gambar 9. Fly Ash Sesudah Diaktivasi	39
Gambar 10. Difraktogram Hasil Analisis XRD dari <i>Fly Ash</i> Batubara Murni	52
Gambar 11. Hasil Analisis <i>Match</i> pada Fly Ash Batubara Murni	53
Gambar 12. Difraktogram Hasil Analisis XRD dari <i>Fly Ash</i> Batubara Teraktivasi ..	54
Gambar 13. Hasil Analisis <i>Match</i> pada <i>Fly Ash</i> Teraktivasi NaOH 1,5M	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji AAS (<i>Atomic Absorbtion Spectrophotometry</i>)	65
Lampiran 2. Hasil Pengujian XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	74
Lampiran 3. Perhitungan Adsorbsi <i>Batch</i>	76
Lampiran 4. JCPDS.....	78
Lampiran 5. Surat Ijin Penelitian di PDAM Tirta Wijaya Cabang Kroya	79
Lampiran 6. Surat Pemberian Ijin Penelitian di PDAM Tirtawijaya Kroya	80
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian.....	81

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri di Indonesia saat ini banyak yang memanfaatkan batubara sebagai penghasil energi dikarenakan relatif lebih murah dibandingkan dengan minyak bumi. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan batubara sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan kukus (*steam*) sebagai media pemanas atau pembangkit listrik seperti pada PLTU Cilacap. Penggunaan batubara sebagai pembangkit listrik tenaga uap ternyata mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan, karena menghasilkan limbah yang berupa *fly ash* (abu layang) dan *bottom ash* (abu dasar) yang merupakan salah satu limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) sehingga sangat berbahaya jika mencemari udara sekitar. (Lasryza, A & Dyah S, 2012).

Penanganan *Fly ash* sendiri umumnya hanya ditumpuk di area sekitar industri atau dibuang di *landfill* (tempat pembuangan). Penanganan limbah *fly ash* yang kurang optimum dapat berbahaya bagi lingkungan sekitar seperti *fly ash* yang tertutup angin dapat mengganggu pernafasan dan tentunya akan menyebabkan polusi udara. Semakin meningkatnya pemakaian batubara, maka beban lingkungan juga akan semakin berat dan perlu diantisipasi dengan mencari pemanfaatan secara optimal agar dapat mengurangi tingkat pencemaran lingkungan (Irawan, C., Basri dkk, 2015).

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruk terhadap

lingkungan, diantaranya dapat digunakan sebagai bahan campuran pembuatan batako, bahan campuran atau pengganti semen pada pembuatan roster serta dapat digunakan sebagai adsorben (Lestari, Y.T, 2013).

Fly ash secara teknik didefinisikan sebagai bahan hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus dan bersifat pozolanik. Komponen utama dari *fly ash* batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3) sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. 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 (Mufrodi Z, Bachrun dkk, 2010).

Keuntungan adsorben berbahan baku limbah *fly ash* adalah biayanya yang murah. Selain itu adsorben dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah cair maupun limbah gas. Dalam tesis Yuliani Tri Lestari telah membuktikan bahwa *fly ash* yang telah diaktivasi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk penentuan kadar gas NO_2 di udara, tetapi belum dapat digunakan untuk penentuan kadar logam pada limbah cair.

Aktivasi *fly ash* sebagai bahan baru atau adsorben dapat menggunakan metode fisika dengan cara pembakaran pada suhu tinggi dan dapat menggunakan metode aktivasi kimia dalam suasana asam ataupun basa. Tujuan aktivasi *fly ash* adalah untuk menghilangkan pengotor yang ada pada *fly ash* dan untuk meningkatkan kinerja penyerapan terhadap senyawa atau ion baik dari larutan maupun udara.

Dewasa ini pencemaran air menjadi masalah serius di dunia. Salah satunya adalah limbah cair yang dihasilkan industri masih mengandung logam berat. Maka dengan adanya permasalahan tersebut perlu adanya tindakan untuk mengurangi kadar logam yang terdapat pada limbah cair. Tindakan yang dilakukan adalah menggunakan *fly ash* sebagai material adsorben untuk mengurangi kandungan logam pada limbah cair. Hal itu dilakukan agar limbah cair tersebut cukup aman dibuang disekitar pemukiman warga, sehingga tidak lagi mencemari lingkungan dan tidak mengandung logam yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti menyebabkan iritasi pada kulit, mengganggu pernafasan, menyebabkan kanker dalam jangka panjang dan lain sebagainya.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Belum optimalnya pemanfaatan *fly ash* yang berasal dari limbah batubara sebagai material adsorben untuk mengadsorbsi logam pada limbah cair.
2. Belum dipelajari bagaimana kemampuan adsorbsi *fly ash* batubara terhadap pengotor padat pada limbah cair dengan parameter zat padat terlarut sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.
3. Belum dilakukan karakteristik kristal pada *fly ash* yang telah diaktivasi dengan metode kimia dan metode fisika.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan maka dapat ditentukan batasan masalahnya yaitu bahan utama yang digunakan dalam proses adsorbsi adalah *fly ash* (abu layang) yang berasal dari limbah batubara PLTU Cilacap. Metode aktivasi sampel yang digunakan adalah metode kimia dalam suasana basa menggunakan larutan NaOH dan metode fisika dengan cara pemanasan. Sampel limbah cair yang digunakan berasal dari limbah cair artifisial, limbah cair PDAM Tirtawijaya Cilacap dan limbah cair *electroplating*. Analisis logam besi (Fe) dan logam tembaga (Cu) pada limbah cair sebelum dan sesudah diaktivasi menggunakan AAS, untuk mengukur zat padat terlarut menggunakan TDS, sedangkan untuk karakterisasi material sampel menggunakan XRD (X-Ray Diffraction).

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan-permasalahan yang ada sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *fly ash* (abu layang) yang berasal dari limbah batubara sebagai material adsorben terhadap kandungan logam pada limbah cair?
2. Bagaimana pengaruh *fly ash* (abu layang) yang berasal dari limbah batubara sebagai material adsorben terhadap total zat padat terlarut (TDS) pada limbah cair?
3. Bagaimana karakteristik (struktur kristal dan kandungan mineral) *fly ash* sesudah mengalami aktivasi dalam keadaan optimum?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *fly ash* (abu layang) yang berasal dari limbah batubara sebagai material adsorben terhadap kandungan logam pada limbah cair.
2. Mengetahui pengaruh *fly ash* (abu layang) yang berasal dari limbah batubara sebagai material adsorben terhadap total zat padat terlarut (TDS) pada limbah cair.
3. Mengetahui karakterisasi (struktur kristal dan kandungan mineral) *fly ash* sesudah mengalami aktivasi dalam keadaan optimum.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk berbagai pihak, yaitu:

1. Bagi peneliti
 - a. Dapat memberi kemampuan juga pengalaman dalam bidang penelitian dan sebagai modal untuk melakukan pengembangan diri.
 - b. Mengetahui pengaruh *fly ash* (abu layang) sebagai material adsorben untuk mengadsorbsi limbah cair yang mengandung logam.
 - c. Mengetahui karakteristik struktur kristal dan komposisi *fly ash* sesudah dan sebelum diaktivasi.
2. Bagi Industri
 - a. Sebagai usaha alternatif dan sebagai informasi bagi industri mengenai penanganan limbah abu layang dan limbah cair yang mengandung logam.
 - b. Mengurangi limbah dari *fly ash* yang secara tidak langsung mengurangi pencemaran lingkungan.

3. Bagi pembaca

Sebagai referensi yang dapat menambah wawasan mengenai limbah *fly ash* (abu layang) sebagai material adsorben untuk mengadsorbsi limbah cair yang mengandung logam.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. *Fly Ash (Abu Layang) Batubara*

Indonesia memiliki banyak industri yang menggunakan batubara 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 batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus (Poernomo, H., 2009).

Fly ash merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dari kondisi tersebut menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain berwarna abu-abu keputihan (Haryanti, N. H, 2014).

Komponen utama *fly ash* batubara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium dan belerang.

Rumus kimia *fly ash* batubara: $\text{Si}_{1.0}\text{Al}_{0.45}\text{Ca}_{0.51}\text{Na}_{0.047}$ $\text{Fe}_{0.039}\text{Mg}_{0.020}\text{K}_{0.013}\text{Ti}_{0.011}$. Sifat kimia dari *fly ash* batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya (Nurhayati, D. N., Bakti M., dkk, 2012). Berdasarkan komponen *fly ash* tersebut terdapat peraturan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, *fly ash* dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mencemari lingkungan (Widyaningsih S., Ely S., & Tien S., 2011)

Fly ash batubara terdiri dari butiran halus yang berbentuk bola padat atau berongga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta mempunyai situs aktif yang dapat diaktivasi untuk meningkatkan kinerja penyerapan terhadap senyawa atau ion baik dari larutan maupun udara.



Gambar 1. Fly Ash PLTU Cilacap

Fly ash batubara tersebut umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penanganan *fly ash* batubara masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Pemanfaatan *fly ash* PLTU Cilacap sampai

saat ini baru dilaksanakan oleh perusahaan pembuatan semen PT Holcim Cilacap sebagai bahan tambah dalam pembuatan akhir semen. PT Sumber Segara Primadaya selaku pihak pengelola PLTU memberikan limbah *fly ash* kepada siapa saja yang ingin memanfaatkannya. Dalam 1 hari volume produksi limbah *fly ash* mencapai $\pm 6.000 \text{ m}^2$ (Haryanto & Gathot dkk, 2016). Kandungan mineral *fly ash* (abu terbang) pada PLTU Cilacap dapat dilihat pada Tabel 1. (Widyaningsih, S., dkk).

Tabel 1. Kandungan mineral Fly Ash

Komponen	%
SiO ₂	39,8469
Al ₂ O ₃	12,7389
FeO	18,3053
CaO	21,5784
MgO	5,6853
TiO ₂	1,1439
S	0,6714
Na ₂ O	0,5863
MnO	0,3424
ZnO	0,1162
P ₂ O ₅	0,1104
V ₂ O ₅	0,0401
Cr ₂ O ₇	0,0008

Pemanfaatan *fly ash* sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Beberapa contoh pemanfaatan *fly ash* yaitu *fly ash* digunakan sebagai bahan campuran pembuatan beton, bahan campuran atau pengganti semen pada pembuatan

roster, sebagai bahan baku keramik serta dapat digunakan sebagai adsorben (Lestari, Y.T, 2013).

2. *Fly Ash* (Abu Layang) Batubara Sebagai Adsorben

Penggunaan adsorben dalam proses eliminasi logam berat dalam limbah cair sebenarnya sudah lama dikenal. Biasanya adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dengan menggunakan bahan seperti tempurung kelapa, jerami padi dan lain-lain (Nurhayati, N. K., 2013).

Mengingat PLTU di Cilacap menggunakan bahan bakar batubara maka limbah hasil pembakaran batubara berupa *fly ash*. Komponen utama dari *fly ash* batubara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3) sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. *Fly ash* sendiri menjadi masalah dikarenakan mengandung logam berat yang dapat mengganggu kesehatan serta mencemari lingkungan, sehingga banyak dilakukan berbagai alternatif atau penelitian mengenai penanganan limbah batubara, salah satunya adalah penelitian mengenai adsorben. 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 (Mufrodi, Bachrun dkk, 2010).

Fly ash yang dikonversi menjadi adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari *fly ash*. Keuntungan dari *fly ash* sebagai adsorben adalah biayanya yang murah dikarena *fly ash* berupa limbah yang dihasilkan terus menerus. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas

maupun limbah cair. Adsorben ini juga dapat digunakan dalam penyisihan logam berat, limbah zat warna berbahaya, senyawa organik pada pengolahan limbah, gas polutan dan gas organik (Faradilla A. R., Hernani dkk, 2016). Apabila bahan adsorben yang digunakan adalah limbah batubara dan dihasilkan oleh industri itu sendiri kemudian prosesnya pun dapat dilakukan oleh industri itu sendiri tentunya akan menarik untuk dikembangkan.

3. Adsorbsi

Adsorbsi merupakan fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorbsi adalah suatu peristiwa terkontaknya partikel padatan dan cairan pada kondisi tertentu sehingga sebagian cairan menempel pada permukaan rongga di permukaan padatan dan konsentrasi cairan yang tidak menempel pada permukaan rongga mengalami perubahan. (Tualeka, M. K., 2016). Pada proses ini partikel pengontor menempel pada bagian pinggir dari bahan penyerap.

Fenomena adsorbsi disebabkan terutama oleh gaya Van der Waals dan gaya hidrostatik antara molekul adsorbat, maka atom yang membentuk permukaan adsorben tanpa adanya ikatan kimia disebut adsorbsi fisika. Adsorbsi fisika bersifat reversibel, umumnya terjadi pada temperatur rendah (G, Ferdinan, 2008).

Sedangkan fenomena interaksi antara adsorbat dan adsorben secara kimia disebut adsorbsi kimia. Dalam adsorbsi kimia, proses adsorbsi terjadi dengan adanya pembentukan ikatan kimia (kovalen) dengan sifat yang spesifik karena tergantung pada jenis adsorben dan adsorbatnya. Adsorbsi kimia bersifat

ireversibel, berlangsung pada temperatur tinggi dan tergantung pada energi aktivasi (Lestari, Y.T, 2013).

Menurut Lestari (2013: 15), proses adsorbsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah:

a. Konsentrasi

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben (Suci, F.C., 2012).

b. Luas permukaan

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 (Lestari, Y.T, 2013).

c. Temperatur

Pada proses adsorbsi fisika umumnya terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat, sehingga semakin tinggi temperatur menyebabkan kapasitas adsorbsi semakin menurun, karena semakin tinggi proses desorpsi semakin mudah terjadi. Sebaliknya pada adsorbsi kimia, jumlah adsorbat yang diadsorbsi bertambah dengan naiknya temperatur adsorbat (Suci, F.C., 2012).

d. Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel yang diadsorpsi maka proses adsorpsinya akan berlangsung lebih cepat (Lestari, Y.T, 2013).

e. pH

pH mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi. Pada pH basa dapat menyebabkan semakin banyak logam hidroksida yang mengendap dan mengurangi ion logam dari larutan adsorbat. Selain itu, pada kondisi pH basa menyebabkan kompetisi ion H⁺ sebagai competitor ion logam akan menurun karena larutan bersifat basa, dengan menurunnya ion H⁺ ini maka ion logam dapat teradsorbsi secara maksimal (Suci, F.C., 2012).

f. Waktu kontak

Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan ion logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam. Semakin lama waktu kontak yang terjadi pada suatu proses adsorbsi maka semakin besar adsorbat yang teradsorbsi (Suci, F.C., 2012).

4. Sistem Adsorbsi *Batch*

Sistem ini digunakan untuk menggambarkan kemampuan dari adsorben dalam mengadsorbsi suatu adsorbat, dengan cara mencampurkan adsorben dengan larutan adsorbat dalam jumlah yang tetap dan mengamati perubahan kualitasnya pada selang waktu tertentu. Setelah digunakan untuk proses adsorbsi, adsorben ini dipisahkan dari adsorbat melalui proses pengendapan, penyaringan dan kemudian dibuang atau diregenerasi. Meskipun pembuatan adsorben masih belum dapat menyelesaikan masalah dengan tuntas dikarenakan adsorben *fly ash* setelah selesai untuk proses adsorbsi masih harus dibuang lagi, akan tetapi hal ini lebih baik daripada *fly ash* hanya ditimbun saja (Suci, F.C, 2016).

Banyaknya adsorbat logam yang mampu diadsorbsi oleh adsorben dapat dinyatakan sebagai kapasitas adsorbsi tiap unit besar dari *fly ash* teraktivasi (mg.g^{-1}). Pada keadaan setimbang, kapasitas adsorbsi dapat dihitung melalui persamaan berikut (Widiastuti N. dkk, 2011):

$$q = \frac{V}{m} (C_o - C_e) \quad (1)$$

dengan:

q = konsentrasi kesetimbangan dalam adsorben (mg.g^{-1})

C_o = konsentrasi awal Fe (mg.L^{-1})

C_e = konsentrasi Fe saat tercapai kondisi kesetimbangan (mg.L^{-1})

V = jumlah volume larutan adsorbat (L)

m = massa adsorben yaitu abu layang teraktivasi (g)

Persentase logam yang hilang dari larutan adsorbat setelah adsorbsi dapat dinyatakan sebagai efisiensi penghilangan. Efisiensi penghilang dapat dihitung melalui persamaan berikut (Widiastuti N. dkk, 2011):

$$\text{Efisiensi Penghilang (\%)} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:

C_o = konsentrasi awal Fe (mg.L^{-1})

C_e = konsentrasi Fe saat tercapai kondisi kesetimbangan (mg.L^{-1})

5. Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorbsi. Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorbsi yang baik yaitu luas permukaan adsorben, karena proses adsorbsi terjadi pada

permukaan sehingga semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorbsinya. Proses adsorbsi akan lebih baik bila tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorbsi (G, Ferdinan, 2008).

6. Proses Aktivasi

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan kemampuan sesuatu bahan agar bersifat lebih aktif dari keadaan semula. Aktivasi pada *fly ash* juga dapat dilakukan untuk memperluas ukuran, volume pori dan membentuk pori yang baru. Menurut Nurhidayati (2010: 14-15) aktivasi dapat dilakukan dengan metode fisika dan kimia, yaitu:

a. 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 adsorbsi.

b. 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.

7. Limbah Logam

Salah satu bentuk pencemaran lingkungan adalah adanya limbah logam pada perairan. Hal ini disebabkan karena banyak pabrik mengalirkan limbah cair industrinya langsung ke sungai ataupun melalui saluran air menuju ke sungai. Terdapat berbagai jenis limbah industri diantaranya adalah besi (Fe) dan tembaga (Cu).

a. Besi (Fe)

Besi tersebut berasal dari korosi pipa-pipa air. Air yang mengandung besi cenderung berbau (biasanya bau besi atau bau tanah), airnya jernih sesaat namun ketika didiamkan akan berubah warna menjadi kekuningan, mengandung lapisan minyak apabila dikonsumsi dapat menimbulkan rasa mual.

Besi merupakan logam berat, logam berat sendiri dibagi kedalam dua jenis, yaitu logam berat non esensial dan logam berat esensial. Logam non esensial adalah logam yang keberadaannya masih belum diketahui manfaatnya, yang termasuk dalam logam ini contohnya adalah Pb, Hg, Cd, dan Cr, sedangkan Fe (Besi) sendiri termasuk ke dalam logam berat esensial yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makluk hidup. Adanya unsur besi di dalam tubuh berfungsi untuk memenuhi kebutuhan akan unsur tersebut dalam mengatur metabolisme tubuh dan pembentukan sel darah merah. Contoh logam berat esensial selain Fe adalah Zn, Cu, Co, dan Mn. (Hasni, N. A & Ade M. U, 2016).

Pada peraturan standar kandungan konsentrasi besi terlarut pada air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 maksimal 1,0 ppm. Sedangkan konsentrasi besi maksimal untuk air minum menurut Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 adalah 0.3 ppm. Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air melebihi batas tersebut dapat menyebabkan berbagai masalah, diantaranya:

1) Gangguan Kesehatan

Apabila dikonsumsi atau digunakan dalam dosis yang besar dapat merusak organ-organ dalam pada tubuh manusia. Kelebihan kandungan besi pada tubuh manusia sangat berbahaya karena dapat menyebabkan gangguan mental serius pada anak, gangguan kerusakan hati, diabetes, dan penyumbatan pembuluh jantung serta berdampak buruk bagi lingkungan, seperti timbulnya warna coklat pada air. Selain itu toksinitas Fe juga menyebabkan hipertensi dan fibrosis pada lambung (Darmono, 2001: 156).

2) Gangguan Teknis

Air yang mengandung besi dapat menyebabkan efek-efek yang merugikan seperti mengotori westafel, bak dan kloset. Selain itu juga bersifat korosif terhadap pipa yang dilalui air yang mengandung besi dan apabila mengendap pada saluran pipa akan mengeras (Primawati, F.S, 2016).

b. Tembaga (Cu)

Salah satu logam berat yang mencemari lingkungan adalah logam tembaga. Keberadaan ion tembaga dalam lingkungan dapat bersumber dari

pembuangan air limbah yang berasal dari pelapisan logam atau industri *electroplating*.

Logam berat Cu digolongkan ke dalam logam berat essensial, artinya meskipun merupakan logam berat beracun, logam ini dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah sedikit. Walaupun dibutuhkan tubuh dalam jumlah sedikit, bila kelebihan dapat mengganggu kesehatan atau mengakibatkan keracunan (Tualeka, M. K., 2016).

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 Tahun 2011, air limbah yang dapat dialirkan ke lingkungan maksimal mengandung 1 ppm ion tembaga. Apabila konsentrasi tembaga terlarut dalam air melebihi batas tersebut dapat menyebabkan keracunan bagi manusia. adanya jumlah tembaga yang melebihi kapasitas yang diijinkan didalam tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan pencernaan seperti sakit perut, mual, muntah, diare, dan gangguan pada peredaran darah, serta beberapa kasus yang parah dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Kusuma, 2014).

8. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) sering juga disebut dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). AAS adalah salah satu instrumen untuk mengukur konsentrasi unsur pada suatu element yang menggunakan prinsip eksitasi pada atom dan alat untuk menganalisa unsur-unsur logam dan semilogam dalam jumlah renik (*trace*). Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu. Spektroskopi Serapan Atom

menyangkut penyelidikan-penyelidikan energi radiasi suatu atom netral dalam keadaan gas. Pengubahan unsur logam menjadi cuplikan, dari larutan menjadi uap terdisosiasi dapat dilakukan oleh energi panas, baik dalam nyala atau dalam tungku listrik. Temperatur yang tepat akan menjadikan uap atom optimum. Temperatur yang tinggi menyebabkan atom-atom akan terionisasi. Atom-atom yang terionisasi tidak akan menyerap panjang gelombang, sehingga akan berpengaruh pada pengukuran (Suyanta & Siti K, 2016).

Terdapat beberapa komponen utama pada instrumentasi AAS seperti pada Gambar 2 adalah sebagai berikut (Sari, N.K., 2010):

a. Sumber Cahaya

Sumber cahaya berupa lampu yang dapat memancarkan energi yang cukup. Ada jenis lampu yang dapat memancarkan spektrum kontinyu sebaliknya ada lampu yang dapat memancarkan spektrum garis, untuk spektrofotometer tipe spektrophotometer serapan atom dipergunakan jenis lampu katoda dengan spektrum garis. Dalam hal ini diperlukan sinar dengan lebar berkas yang sangat sempit dimana garis emisinya harus sesuai dengan garis resonansi unsur atau atom yang diselidiki. Lampu katoda terdiri atas sebuah katoda berongga berbentuk tabung dan berhadapan dengan anoda dari kawat wolfram, keduanya terbungkus dengan bahan gelas.

b. Monokromator

Monokromator merupakan suatu alat yang diletakkan diantara nyala dan detektor pada suatu rangkaian instrumentasi spektrofotometer serapan

atom. Fungsi monokromator adalah mengisolasi salah satu garis resonansi/radiasi resonansi dari sekian banyak spektrum yang dihasilkan oleh lampu pijar (Kusumawati, D. R., 2012).

c. Gas dan alat pembakar

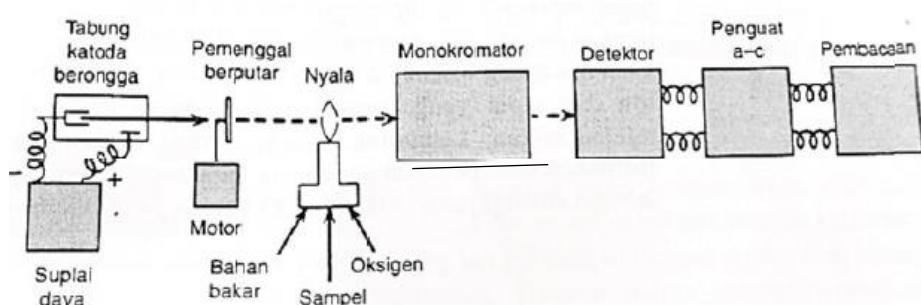
Gas dan alat pembakar pada spektrofotometer serapan atom dikenal dua jenis gas pembakar yang bersifat oksidasi dan bahan bakar. Gas pengoksidasi misalnya udara (O_2) atau campuran O_2 dan N_2O , sedangkan sebagai bahan bakar adalah gas alam, propane, butane, asetilen dan H_2 .

d. Kuvet

Kuvet merupakan suatu tempat untuk nyala api dan atom-atom yang ada didalamnya, seolah-olah berfungsi sebagai kuvet.

e. Detektor

Detektor berfungsi mengubah energi sinar menjadi energi listrik, dimana energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk mendapatkan data. Syarat yang harus dipenuhi oleh sebuah detektor adalah memiliki respon yang linear terhadap energi sinar dalam kawasan spektrum yang bersangkutan (Kusumawati, D. R., 2012).



Gambar 2. Komponen-komponen spektrofotometer serapan atom
(Day, R.A & A. L. Underwood)

Prinsip kerja dari AAS adalah adanya interaksi antara energi (sinar) dan materi (atom). Jumlah radiasi yang terserap tergantung pada jumlah atom-atom bebas yang terlibat dan kemampuannya untuk menyerap radiasi. Contohnya adalah larutan sampel yang mengandung unsur logam ion misalnya Fe diatomisasi membentuk molekul dalam fase gas oleh burner dan nebulizer. Molekul yang teratomisasi merupakan atom netral yang berada dalam keadaan dasar. Sumber radiasi yang berupa lampu elektroda cekung memancarkan frekuensi radiasi resonansi dari unsur ion misalnya besi, kemudian sinar diteruskan pada monokromator. Monokromator akan menyeleksi sinar yang dikehendaki sehingga diperoleh sinar resonansi. Sinar resonansi diteruskan ke detector yang akan mengubah intensitas sinar menjadi pulsa listrik yang kemudian menuju amplifier dan sistem pembacaan (pencatat), sehingga didapatkan absorpsi logam ion besi (Nurhidayati, 2010).

9. TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS adalah alat ukur kadar zat padat yang terlarut dalam air. Contoh padatan terlarut dalam air adalah zat kapur, besi, timah, magnesium, tembaga, sodium, klorida, klorin dan lain lain. Selain dapat mengukur kadar zat padat terlarut dapat untuk mengukur mineral, garam, logam, kation-anion yang terlarut dan dapat untuk mengukur temperatur dalam air. Secara umum, konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion didalam air. TDS juga dapat berasal dari sumber organik seperti daun, lumpur, plankton, limbah industri dan limbah rumah tangga. TDS dinyatakan

dalam satuan mg per satuan volume air (mg/L) atau dapat juga dinyatakan dalam *parts per million* (ppm) (Dini S., 2011).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 tentang parameter fisik dalam standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk media air untuk keperluan *hygiene* sanitasi, kadar TDS yang diperbolehkan adalah 1000 ppm. Air yang mengandung TDS tinggi sangat tidak baik untuk kesehatan manusia karena dapat menyebabkan terganggunya saluran pencernaan, menyebabkan mual dan pusing. Bila mengendap dimata dapat mengakibatkan katarak, dipembuluh darah dapat mengakibatkan pengerasan pembuluh darah, mengakibatkan batu ginjal, tekanan darah tinggi, stroke dan penyakit lainnya. (Primawati, F.S, 2016).

Pengukuran TDS yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode *electrical conductivity* (ukuran kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik). Prinsip kerja dari TDS meter merk HM digital tipe TDS-3 yang ditunjukkan pada Gambar 3 adalah dengan menekan tombol *on/off*, kemudian alat dicelupkan kedalam larutan yang akan diukur dan secara otomatis akan terukur hasil kadarnya. Kalibrasi TDS dapat menggunakan larutan NaCl (Primawati, F.S, 2016).



Gambar 3. TDS Meter

10. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD adalah sebuah teknik kristalografi yang digunakan untuk mengidentifikasi berbagai fase kristal yang ada pada bahan padat dan bubuk. Pada XRD struktur kristal dapat ditentukan sebaik ukuran butiran dan partikel nano. XRD adalah satu dari banyak teknik yang digunakan untuk menentukan struktur bahan organik dan anorganik (Muis, S., 2013: 92). Prinsip dasar dari XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila sinar dilewatkan ke permukaan kristal, sebagian sinar tersebut akan terhamburkan dan sebagian lain akan diteruskan ke lapisan berikutnya.

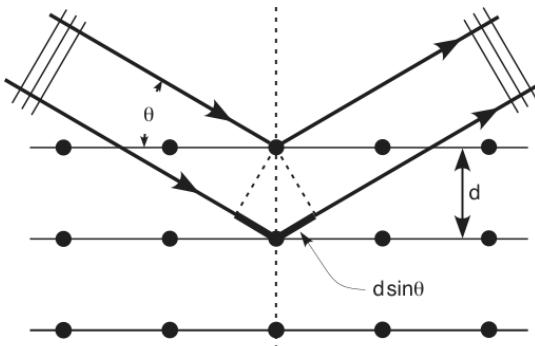
XRD memanfaatkan prinsip dari hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa pada suatu panjang gelombang elektromagnet (sinar-X) yang mengenai kisi kristal padatan baik koheren maupun inkoheren, akan mengalami difraksi kisi dengan sudut sebesar 2θ . Persamaan Bragg dapat ditulis sebagai berikut:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (3)$$

dimana λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Bila sebuah berkas sinar X monokromatik dengan panjang gelombang λ diradiasikan ke dalam bahan kristal dengan jarak pisah d , sudut θ , difraksi yang terjadi hanya bila jarak lintas oleh sinar dipantulkan dari bidang berikutnya berbeda oleh sebuah bilangan n panjang gelombang untuk menghasilkan pola

interferensi konstruktif hanya terjadi bila sudut datang memenuhi kondisi Bragg sebagai berikut (Muis, S., 2013: 92):



Gambar 4. Kondisi *Interferensi Konstruktif* (Muis, S., 2013: 92)

XRD dapat digunakan untuk beberapa hal yaitu (Mukti, S., 2012):

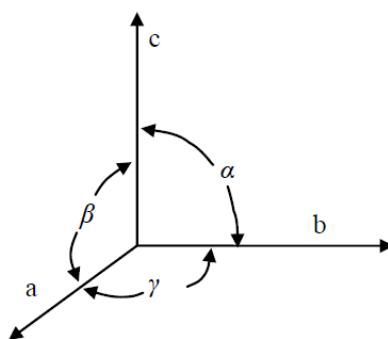
- a. Penentuan struktur kristal suatu material,
- b. Mengukur bentuk, ukuran, dan tegangan dalam kristal kecil,
- c. Analisis kuantitatif dari mineral,
- d. Penentuan material baru, analisis struktural untuk riset material dll.

11. Kristal

Pada dasarnya struktur zat padat dalam alam semesta ini dapat dibagi dua yaitu berstruktur kristal dan tidak berstruktur (amorf). Disebut kristal apabila atom-atom penyusunnya, ion-ion atau molekul zat padat tertata secara teratur dalam pola tiga dimensi yang berulang secara kontinu dan disebut amorf bila atom-atom penyusunnya tidak memiliki pola susunan tertentu seperti pada kristal. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang

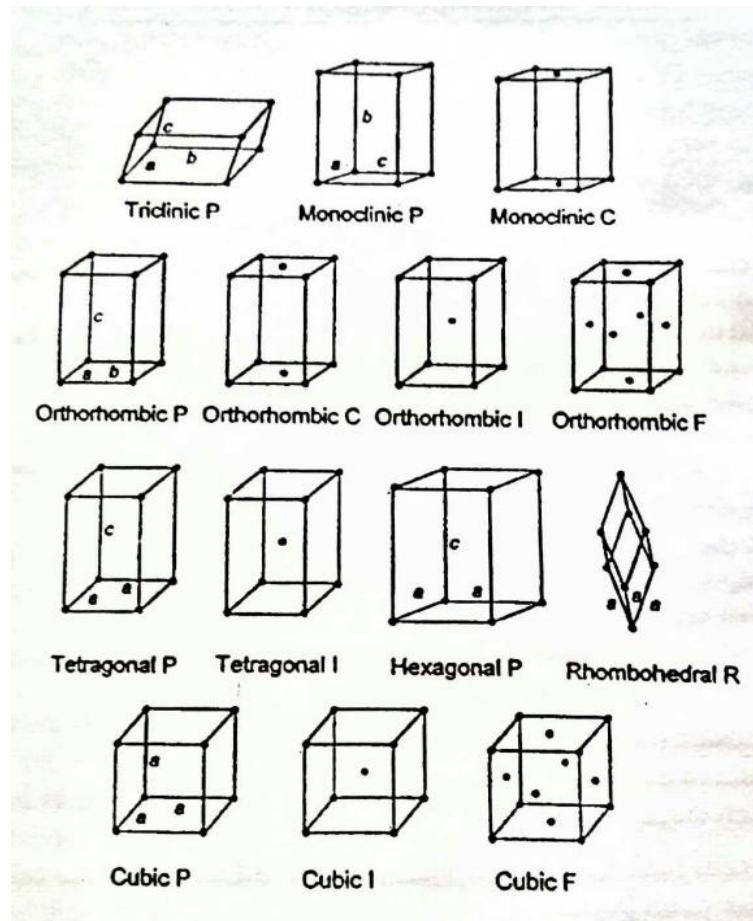
harus memenuhi adanya ikatan atom yang berarah dan susunan yang rapat (Fridawati, M., 2008).

Geometri kristal dalam ruang tiga dimensi yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Suatu kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas dari suatu kristal. Struktur kristal dinyatakan dalam sumbu-sumbu kristal yang dikaitkan dengan parameter kisi dan sudut referensi seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (Nova, D., 2012).



Gambar 5. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal.

Rusuk dari suatu sel unit dalam struktur kristal harus merupakan translasi kisi, yaitu vektor yang menghubungkan dua simpul kisi. Jika sel unit disusun bersentuhan antar bidang sisi, mereka akan mengisi ruang tanpa meninggalkan ruang kosong dan membentuk kisi ruang. Satu kisi ruang yang sama mungkin bisa dibangun dari sel unit yang berbeda, akan tetapi sel unit yang dipilih memiliki geometri sederhana dan mengandung hanya sejumlah kecil simpul kisi. Sel unit dari 14 kisi Bravais diperlihatkan pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Sel Unit dan Empat Belas Kisi Bravais
(Suryanarayana, C & M. Grant N., 1998)

Kebanyakan fly ash memiliki struktur heksagonal, dengan adanya silikon oksida dan alumunium oksida yang terbentuk (Nurhayati, D. N., 2013). Sumbu-sumbu a, b, dan c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal seperti pada Gambar 6. Sedangkan α , β , dan γ merupakan sudut antar sumbu-sumbu referensi kristal. Berdasarkan sumbu-sumbu a, b, dan c (kisi bidang) dan sudut α , β , dan γ (kisi ruang) (Nova, D., 2012), struktur kristal dapat dikelompokkan menjadi tujuh yaitu kubik, monoklinik, triklinik, tetragonal, orthogonal, trigonal dan hexagonal seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais (Ariswan, 2010)

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana	P
		Pusat Badan	I
		Pusat Muka	F
Mono	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Sederhana	P
		Pusat Dasar	C
Triklinik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Sederhana	P
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana	P
		Pusat Badan	I
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana	P
		Pusat Dasar	C
		Pusat Badan	I
		Pusat Muka	F
Trigonal/ Rhombohedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ > 120^\circ$	Sederhana	P
Heksagonal/ Rombus	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta \neq 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Sederhana	P

B. Kerangka Berpikir

Kondisi *fly ash* limbah batubara dari PLTU Cilacap telah diketahui mengandung oksida logam berat yang dapat memberikan dampak buruk terhadap gangguan kesehatan dan pencemaran lingkungan apabila tidak ditangani. Penanganan *fly ash* batubara masih terbatas pada penimbunan dilahan kosong.

Sebagai usaha untuk mengatasi masalah yang timbul akibat adanya oksida logam berat yang terdapat pada *fly ash* yaitu dengan cara membuat adsorben dari *fly ash*. Dalam hal ini peneliti menggunakan metode aktivasi kimia dan fisika. Sintesis diawali dengan mengaktivasi *fly ash* menggunakan metode kimia untuk membersihkan permukaan pori yang sulit diuapkan atau cenderung terikat kuat dari pengotor. Kemudian, diaktivasi secara fisika untuk memperluas permukaan pori dan meningkatkan kemampuan absorbsinya dengan cara dipanaskan pada oven listrik. Cara untuk mengetahui kinerja adsorben tersebut dengan menggunakan limbah cair yang mengadung besi, dari hal tersebut juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan dapat menurunkan kadar besi yang dapat mengganggu kesehatan warga yang berada didekat area pembuangan limbah cair suatu pabrik.

Limbah yang telah diberi *fly ash* kemudian diuji dengan menggunakan AAS untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam sebelum dan sesudah diaktivasi. Limbah yang telah diberi *fly ash* lalu diukur kandungan total zat padat terlarut menggunakan TDS meter. Kemudian karakterisasi *fly ash* dilihat dari struktur kristal dan kandungan mineralnya sebelum maupun sesudah aktivasi dengan menggunakan XRD.

BAB III

METODE PELAKSANAAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Januari 2018 sampai dengan bulan Mei 2018. Tempat penelitian dilakukan di beberapa tempat, yaitu:

1. Aktivasi *fly ash* dengan metode kimia dilakukan di laboratorium kimia lantai III Kimia, FMIPA UNY.
2. Aktivasi *fly ash* dengan metode fisika dilakukan di laboratorium koloid lantai II Fisika, FMIPA UNY.
3. Pengujian kandungan logam pada limbah cair menggunakan AAS dilakukan di laboratorium fisika lantai II, FMIPA UNY.
4. Karakterisasi (struktur kristal dan kandungan mineral) *fly ash* menggunakan XRD dilakukan di laboratorium kimia atom lantai II Kimia, FMIPA UNY.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang pada masing-masing tahap memerlukan perangkat penunjang yang terdiri dari alat dan bahan yang berbeda-beda, diantaranya adalah:

1. Alat yang digunakan:

- a. Timbangan digital

Peneliti menggunakan timbangan digital untuk menimbang massa *fly ash*.

- b. Refluks

Peneliti menggunakan refluks untuk mengaktivasi *fly ash* dengan metode kimia.

c. Gelas beker

Peneliti menggunakan gelas beker sebagai wadah ketika *fly ash* yang telah diaktivasi kimia diaduk menggunakan *magnetic stirrer*.

d. *Magnetic stirrer*

Peneliti menggunakan *magnetic stirrer* untuk mengaduk *fly ash* yang telah diaktivasi.

e. Oven listrik

Peneliti menggunakan oven untuk mengaktifasi *fly ash* yang telah diaktivasi dengan metode aktivasi kimia.

f. Cawan patri

Peneliti menggunakan cawan patri sebagai wadah *fly ash* yang akan diaktivasi.

g. TDS (*Total Dissolved Solid*)

Peneliti menggunakan TDS meter merk HM digital tipe TDS-3 untuk mengetahui total zat padat terlarut didalam limbah cair sebelum dan sesudah diaktivasi.

h. AAS (*Atomic Absorption Spektrophotometri*)

Peneliti menggunakan AAS seri AA-7000 untuk mengetahui berapa banyak kadar logam didalam limbah cair sebelum dan sesudah diaktivasi.

i. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Peneliti menggunakan XRD *Miniflex* 600 yang diproduksi oleh *Rigaku* untuk mengetahui karakteristik struktur kristal dan kandungan mineral yang terdapat pada *fly ash* sebelum dan sesudah diaktivasi.

j. Kertas laksus dan wadah

2. Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. *Fly ash* (Abu Layang)

Fly ash (abu layang) sebagai indikator utama penelitian. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Cilacap, Jawa Tengah.

- b. NaOH

NaOH sebagai aktivator dalam proses aktivasi kimia pada *fly ash* untuk membersihkan permukaan pori yang sulit diuapkan.

- c. Limbah cair mengandung logam

Limbah cair yang mengandung logam digunakan untuk mengetahui daya adsorbsi terhadap logam pada *fly ash* setelah diaktivasi.

- d. Aquades

Aquades digunakan untuk menetralkan *fly ash* yang diaktivasi kimia dalam suasana basa supaya netral.

C. Variabel Penelitian

Adapun variable-variabel yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya:

1. Variabel bebas

- a. Konsentrasi saat aktivasi kimia dengan NaOH 1 M, 1,5 M dan 3 M
- b. Suhu saat aktivasi fisika 373°K, 393°K dan 413°K

2. Variabel terikat

- a. Kandungan logam pada limbah
- b. Zat padat terlarut
- c. Karakteristik struktur kristal *fly ash*
- d. Kandungan mineral *fly ash*

3. Variabel kontrol

- a. Massa abu layang (*fly ash*)
- b. Volume air limbah
- c. Jenis air limbah
- d. Volume larutan NaOH
- e. Suhu saat aktivasi kimia
- f. Waktu saat aktivasi kimia
- g. Waktu pengadukan saat aktivasi kimia
- h. Waktu pemanasan saat aktivasi fisika.
- i. Waktu pengadukan saat proses adsorbsi.

D. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai material adsorben terhadap banyaknya kandungan logam Fe (besi) pada limbah cair dan pengaruh terhadap total zat pada terlarut pada limbah cair. Serta mengetahui karakteristik (struktur kristal dan kandungan mineral) *fly ash* sebelum dan sesudah mengalami aktivasi dalam keadaan optimum. Pengujian kandungan logam pada limbah cair dengan menggunakan AAS dan pengujian total zat padat terlarut dengan menggunakan TDS meter. Pengujian Stuktur kristal dan kandungan mineral dilakukan dengan menggunakan XRD.

E. Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data dilakukan dalam beberapa tahap diantaranya tahap aktivasi sampel dan tahap karakterisasi:

1. Tahap pembuatan adsorben

a. Pengambilan sampel *fly ash*

Sampel *fly ash* digunakan berasal dari limbah PLTU yang terletak di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah.

b. Aktivasi *fly ash* dengan metode kimia

- 1) Menimbang *fly ash* sebesar 50 gram dengan timbangan digital sebanyak 9 kali di laboratorium Koloid FMIPA UNY.
- 2) Menambahkan larutan NaOH sebanyak 100 ml dengan konsentrasi masing-masing 1 M, 1,5 M dan 3 M dalam 50 gram *fly ash* pada beker gelas.
- 3) *Fly ash* yang telah dicampur dengan NaOH direfluks pada suhu 90°C selama 60 menit, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan putaran 1500 rpm secara konstan dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
- 4) Kemudian *fly ash* disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades sampai beberapa kali hingga pH netral, untuk mengetahui pH netral maka hasil proses penyaringan tersebut dicelupkan kertas laksus.

c. Aktivasi *fly ash* dengan metode fisika

- 1) Residu *fly ash* hasil aktivasi kimia dipanaskan dengan menggunakan oven pada variasi temperatur 373°K, 393°K dan 413°K selama 1 jam.
- 2) Setelah kering *fly ash* didiamkan sampai suhu kamar dan setelah itu *fly ash* sudah dapat digunakan sebagai adsorben.

2. Tahap pembuatan limbah artifisial

- a. Sebanyak 1 gram padatan FeCl₃ ditimbang, kemudian dilarutkan dengan aquades sebanyak 100 ml.
- b. Setelah dilarutkan, sampel diaduk selama 15 menit dengan putaran 1500 rpm secara konstan dengan menggunakan *magnetic stirrer*, dengan langkah yang sama dilakukan pengulangan sebanyak empat kali.

3. Tahap proses adsorbsi

- a. Menimbang adsorben *fly ash* teraktivasi sebanyak 2 gram, kemudian dicampurkan kedalam 100 ml limbah artifisial, 100 ml limbah cair PDAM Tirtawijaya Kroya dan 100 ml limbah cair elektroplating Kotagede. Setelah itu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan putaran 1500 rpm secara konstan. Kemudian, dengan langkah yang sama dilakukan pengulangan sebanyak sembilan kali.
- b. Selanjutnya 9 larutan tersebut diendapkan beberapa saat, kemudian disaring dengan kertas saring. Hasil penyaringan tersebut digunakan untuk uji kandungan ion logam besi (Fe) serta ion tembaga (Cu) yang terdapat pada limbah cair dan untuk pengujian total zat padat terlarut.

4. Tahap pengujian kinerja adsorben

- a. Pengujian kandungan logam besi dan tembaga pada limbah cair dengan menggunakan hasil penyaringan yang dihasilkan setelah proses adsorbsi. Pada limbah artifisial, hasil penyaringan (filtrat) diambil sebanyak 3 ml dan diencerkan pada 100 ml aquades kemudian diukur konsentrasi logamnya dengan AAS. Pada limbah cair PDAM Tirtawijaya dan limbah

cair elektroplating langsung dapat diukur konsentrasi logamnya dengan AAS.

- b. Pengujian total zat padat terlarut dilakukan dengan menggunakan filtrat yang dihasilkan setelah proses adsorbsi. Kemudian filtratnya diukur menggunakan TDS meter dengan cara dicelupkan. Kemudian hasil pengukuran dapat langsung dibaca, karena TDS meter yang digunakan merupakan jenis digital.
- c. Karakterisasi *fly ash* dilakukan pada *fly ash* sebelum diaktivasi dan *fly ash* setelah diaktivasi dengan menggunakan alat XRD.

F. Teknik Analisis Data

1. Analisis konsentrasi kandungan logam

Uji adsorbtivitas *fly ash* terhadap Fe atau Cu untuk mengetahui seberapa banyak konsentrasi kandungan logam menggunakan alat AAS. Hasil tersebut dibandingkan dengan standar kandungan konsentrasi besi terlarut pada air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 maksimal 1,0 ppm dan konsentrasi besi maksimal untuk air minum menurut Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 adalah 0.3 ppm. Kemudian untuk standar kandungan konsentrasi logam Cu berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 02 Tahun 2011, air limbah yang dapat dialirkan ke lingkungan maksimal mengandung 1 ppm ion tembaga.

2. Adsorbsi Batch

- a. Pada keadaan setimbang, kapasitas adsorbsi dapat dihitung melalui persamaan 1.

- b. Efisiensi penghilangan adsorbsi logam oleh adsorben dapat dihitung melalui persamaan 2.

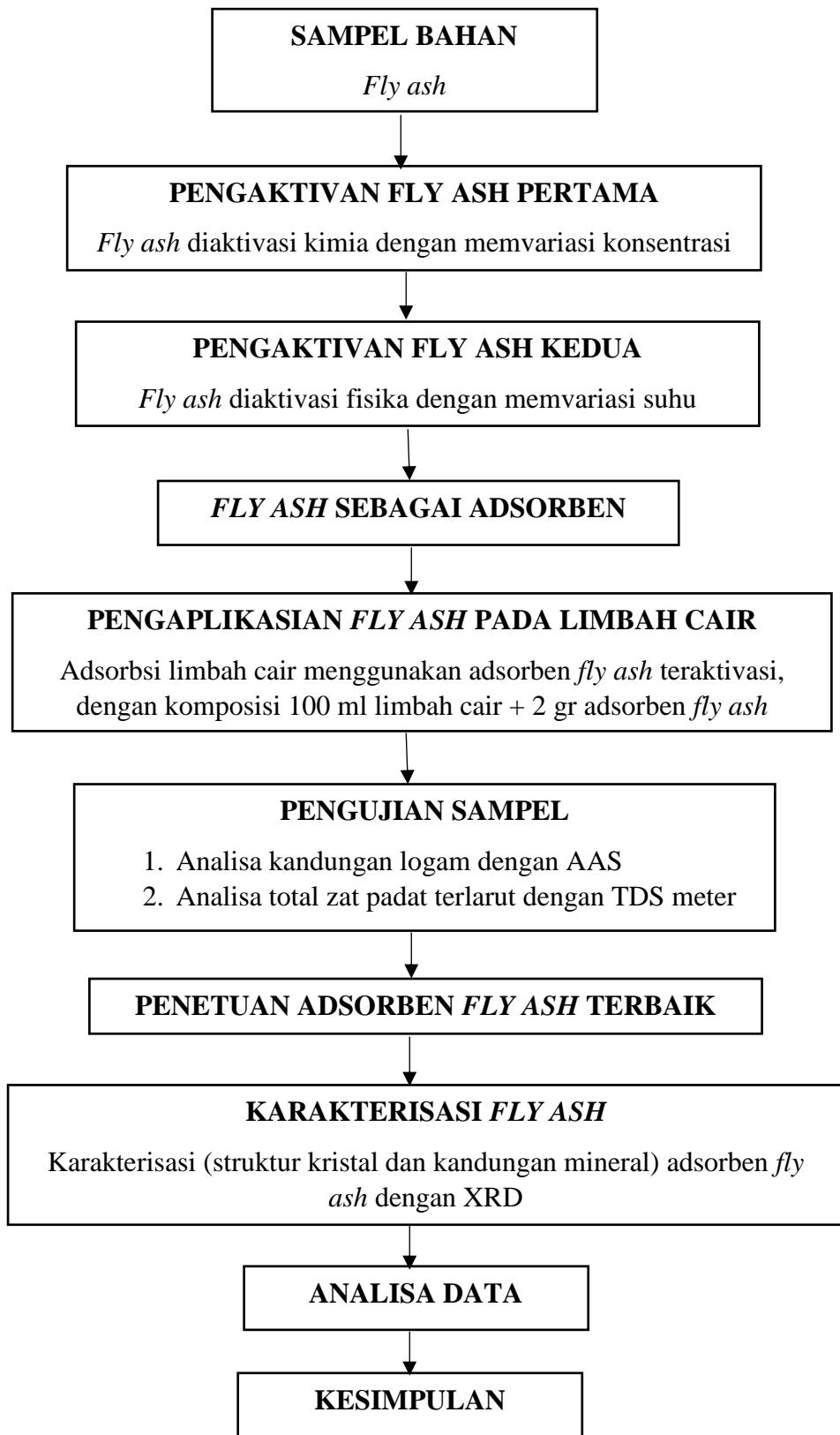
3. Analisis Total Zat Padat Terlarut

Alat yang digunakan untuk mengetahui total zat padat terlarut adalah TDS meter. Alat tersebut langsung dapat diketahui berapa total zat padat terlarut pada limbah cair. Kemudian dapat dibandingkan dengan standar baku mutu TDS menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 yang diperbolehkan adalah 1000 ppm.

4. Analisis Struktur Kristal dan Kandungan mineral *Fly Ash*

Fly ash dikarakterisasi dengan alat XRD. Data yang diperoleh kemudian dicocokan dengan intensitas dan sudut (2θ) yang kemudian dicocokkan dengan data pola difraksi sinar-X JCPDS (*Joint Committee For Powder Diffraction Standar*) sehingga senyawa yang terdapat dalam sampel dapat diidentifikasi.

G. Diagram Alir Tahap Penelitian



Gambar 7. Diagram Alir Tahap Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai material adsorben terhadap banyaknya kandungan logam pada limbah cair dan mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai material adsorben terhadap total zat padat terlarut (TDS) pada limbah cair. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui karakteristik (struktur kristal dan kandungan mineral) *fly ash* sebelum dan sesudah mengalami aktivasi dalam keadaan optimum.

Pada proses penelitian ini, *fly ash* diaktivasi dengan metode kimia dan metode fisika. Pada metode kimia *fly ash* yang telah dicampur dengan NaOH dengan variasi 1 M, 1,5 M dan 3 M direfluks pada suhu 90°C selama 60 menit, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Hal itu bertujuan untuk mengurangi pengotor yang ada didalam *fly ash*. Pada metode fisika residu *fly ash* hasil aktivasi kimia dipanaskan dengan menggunakan oven pada variasi temperatur 373°K, 393°K dan 413°K selama 1 jam untuk membuka pori-pori yang tertutup. Sampel *fly ash* sebelum dan setelah aktivasi ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Fly Ash Sebelum Diaktivasi Gambar 9. Fly Ash Sesudah Diaktivasi
Pengujian kandungan logam pada limbah cair dilakukan dengan menggunakan AAS. Pengujian total zat padat terlarut dilakukan dengan menggunakan TDS meter.

Pada pengujian struktur kristal dan kandungan mineral dilakukan dengan menggunakan XRD. Berikut ini adalah hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian *fly ash* sebagai adsorben:

A. Hasil Uji AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*)

Pada penelitian ini dilakukan uji AAS untuk mengetahui kemampuan adsorben *fly ash* dalam mengadsorbsi logam pada limbah cair. AAS digunakan untuk mengetahui konsentrasi logam pada limbah cair sebelum diberi dengan *fly ash* teraktivasi dan setelah diberi dengan *fly ash* teraktivasi. Berikut hasil dari uji AAS:

1. Daya serap adsorben *fly ash* terhadap ion logam besi (Fe) pada limbah cair artifisial

Pada proses pengujian daya serap adsorben *fly ash* terhadap ion logam besi, peneliti terlebih dahulu membuat limbah artifisial dari FeCl_3 . Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorben *fly ash* dalam mengadsorbsi ion logam khususnya besi (Fe). Hasil dari pengukuran AAS seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Fe dan Jumlah Fe Teradsorbsi pada Limbah Cair Artifisial

Konsentrasi Fe (ppm) sebelum adsorbsi	Aktivasi Kimia (NaOH)	Aktivasi Fisika (Suhu)	Konsentrasi Fe (ppm) sesudah adsorbsi	Jumlah Fe teradsorbsi (mg/g)	Efisiensi Penghilang (%)
$2,39 \pm 0,04$	1,5 M	373°K	$0,46 \pm 0,04$	0,09626	$80,7 \pm 0,9$
		393°K	$0,33 \pm 0,04$	0,103175	$86,2 \pm 0,9$
		413°K	$0,31 \pm 0,04$	0,103905	$87,0 \pm 0,9$

Berdasarkan Tabel 3, hasil AAS menunjukkan bahwa konsentrasi besi (Fe) semakin menurun setelah limbah cair artifisial diberi *fly ash* yang diaktivasi dengan suhu yang semakin tinggi. Hal itu dikarenakan semakin tinggi temperatur

pemanasan aktivasi *fly ash*, maka terbentuk lebih banyak pori sehingga kemampuan adsorbsinya semakin meningkat.

Konsentrasi awal logam Fe pada limbah cair yaitu sebesar $(2,39 \pm 0,04)$ ppm, sedangkan konsentrasi logam Fe paling kecil pada limbah cair setelah diberi *fly ash* teraktivasi sebesar $(0,31 \pm 0,04)$ ppm. Maka, dapat diketahui bahwa *fly ash* teraktivasi dapat mengurangi kadar ion logam besi pada limbah cair artifisial. Diketahuinya konsentrasi logam sebelum dan sesudah aktivasi, dapat digunakan untuk menghitung jumlah Fe teradsorbsi dan efisiensi penghilang dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Hasil perhitungan (lampiran 3) menunjukkan jumlah ion logam Fe pada limbah cair yang telah diberi *fly ash* teraktivasi paling kecil adalah pada suhu 413°K sebesar $0,103905$ mg/g dengan efisiensi penghilang sebesar $(86,91 \pm 0,9)\%$.

Berdasarkan Tabel 3 hasil aktivasi dengan konsentrasi $1,5\text{ M}$ pada variasi suhu 373°K , 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki konsentrasi ion logam Fe sebesar adalah $(0,46 \pm 0,04)$ ppm, $(0,33 \pm 0,04)$ ppm dan $(0,31 \pm 0,04)$ ppm. Oleh sebab itu, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi limbah cair artifisial adalah saat konsentrasi $\text{NaOH } 1,5\text{ M}$ pada suhu 413°K dengan konsentrasi ion logam Fe $(0,31 \pm 0,04)$ ppm, jumlah Fe teradsorbsi sebesar $0,103905$ dan efisiensi penghilang $(86,91 \pm 0,9)\%$.

Berdasarkan hasil pengujian konsentrasi ion logam Fe, konsentrasi ion logam Fe paling baik setelah diberi *fly ash* teraktivasi adalah sebesar $(0,31 \pm 0,04)$ ppm. Pada Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017 menyatakan bahwa kadar besi maksimum untuk keperluan air bersih yaitu sebesar $1,0$ ppm dan kadar besi maksimum untuk keperluan air minum menurut Permenkes Nomor

492/Menkes/Per/IV/ yaitu sebesar 0.3 ppm. Maka dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah yang telah diberi *fly ash* teraktivasi memenuhi baku mutu kadar besi maksimum untuk keperluan air bersih dan air minum.

2. Daya serap adsorben *fly ash* terhadap ion logam besi (Fe) pada limbah cair PDAM Tirta Wijaya

Setelah diperoleh kondisi optimum adsorbsi Fe oleh *fly ash* pada limbah artifisial, selanjutnya dilakukan uji pada sampel limbah cair PDAM Tirta Wijaya Kroya. Berdasarkan pengujian pada tiap variasi konsentrasi NaOH dan suhu diperoleh hasil seperti dalam Tabel 4.

Tabel 4. Konsentrasi Fe dan Jumlah Fe Teradsorbsi pada Limbah Cair PDAM Tirta Wijaya

Konsentrasi Fe (ppm) sebelum adsorbsi	Aktivasi Kimia (NaOH)	Aktivasi Fisika (Suhu)	Konsentrasi Fe (ppm) sesudah adsorbsi	Jumlah Fe teradsorbsi (mg/g)	Efisiensi Penghilang (%)
0,16 ± 0,04	1,5 M	373°K	0,00 ± 0,04	0,0079	100,0 ± 195,3
		393°K	0,01 ± 0,04	0,0076	93,7 ± 195,3
		413°K	0,00 ± 0,04	0,0079	100,0 ± 195,3
	3 M	373°K	0,01 ± 0,04	0,0076	93,7 ± 195,3
		393°K	0,02 ± 0,04	0,0073	87,5 ± 195,3
		413°K	0,00 ± 0,04	0,0078	99,9 ± 195,3

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa kondisi optimum *fly ash* dalam mengadsorbsi ion logam Fe adalah *fly ash* yang diaktivasi dengan konsentrasi NaOH 1,5 M. Saat diaktivasi dengan konsentrasi NaOH 3 M, adsorben *fly ash* dapat berkerja tetapi tidak terlalu banyak ion logam Fe yang dapat teradsorbsi. Hal itu dapat dikarenakan konsentrasi NaOH 3 M lebih pekat, sehingga kondisi ini merusak struktur pori pada adsorben *fly ash*. Oleh karena itu, *fly ash* dengan aktivasi

NaOH 3 M memiliki daya adsorbsi yang lebih rendah dibandingkan dengan NaOH 1,5 M.

Tabel 4 menyatakan bahwa konsentrasi awal ion logam Fe pada limbah cair yaitu sebesar $(0,16 \pm 0,04)$ ppm, sedangkan konsentrasi ion logam Fe paling kecil pada limbah cair setelah diberi *fly ash* teraktivasi yaitu sebesar $(0,00 \pm 0,04)$ ppm. Maka, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *fly ash* teraktivasi dapat mengurangi kadar besi pada limbah cair PDAM dan nilai minus tersebut menunjukkan bahwa dapat terjadi pelarutan sejumlah elemen logam dari *fly ash* pada saat dilakukan pencucian, sehingga dapat ikut terkompleks saat analisa. Hal ini dapat menjelaskan mengapa dapat terjadi pembacaan kandungan ion Fe yang negatif pada analisa menggunakan AAS (Witono, J.R. & Arry M., 2015). Diketahuinya konsentrasi logam sebelum dan sesudah aktivasi, dapat digunakan untuk menghitung jumlah Fe teradsorbsi dan efisiensi penghilang dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Hasil perhitungan (lampiran 3) menunjukkan jumlah ion logam Fe paling kecil pada limbah cair adalah setelah diberi *fly ash* teraktivasi dengan konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 413°K yaitu sebesar $0,0079$ mg/g dengan efisensi penghilang sebesar $(100 \pm 195,3)\%$.

Berdasarkan Tabel 4 hasil aktivasi dengan konsentrasi NaOH 1,5 M dengan suhu 373°K , 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki konsentrasi ion logam Fe sebesar adalah $(0,00 \pm 0,04)$ ppm, $(0,01 \pm 0,04)$ ppm dan $(0,00 \pm 0,04)$ ppm. Pada konsentrasi NaOH 3 M dengan suhu 373°K , 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki konsentrasi ion logam Fe sebesar adalah $(0,01 \pm 0,04)$ ppm, $(0,02 \pm 0,04)$ ppm dan $(0,00 \pm 0,04)$ ppm. Pada suhu 373°K dengan suhu 413°K saat konsentrasi 1,5 M memiliki hasil konsentrasi ion logam Fe yang sama yaitu $(0,00 \pm 0,04)$ ppm

dengan efisiensi penghilang yang sama yaitu 100%, akan tetapi bila dilihat dari efisiensi pemakaian energi lebih baik bila menggunakan suhu 373°K karena lebih hemat energi (listrik). Oleh sebab itu, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi limbah cair artifisial adalah saat konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 373°K dengan jumlah Fe teradsorbsi sebesar 0,0079 mg/g dan efisiensi penghilang ($100 \pm 195,3$ %).

Berdasarkan hasil pengujian konsentrasi ion logam Fe paling baik setelah diberi *fly ash* teraktivasi NaOH 1,5 M pada suhu 373°K adalah sebesar ($0,00 \pm 0,04$) ppm. Pada Permenkes RI No 32 Tahun 2017 menyatakan bahwa kadar besi maksimum untuk keperluan air bersih yaitu sebesar 1,0 ppm dan kadar besi maksimum untuk keperluan air minum menurut Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/ yaitu sebesar 0,3 ppm. Maka, dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah yang telah diberi *fly ash* teraktivasi dapat memenuhi baku mutu kadar besi maksimum untuk keperluan air bersih dan air minum.

3. Daya serap adsorben *fly ash* terhadap ion logam tembaga (Cu) pada limbah *electroplating* Kotagede

Pada penelitian ini untuk memastikan kemampuan adsorben *fly ash* dalam mengadsorbsi ion logam berat selain besi (Fe), peneliti menggunakan limbah cair *electroplating* yang mengandung tembaga (Cu) untuk diadsorbsi. Berdasarkan pengujian pada tiap variasi konsentrasi aktivasi dan variasi suhu aktivasi diperoleh hasil seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Konsentrasi Cu dan Jumlah Cu teradsorbsi pada Limbah *Electroplating*

Konsentrasi Cu (ppm) sebelum adsorbsi	Aktivasi Kimia (NaOH)	Aktivasi Fisika (Suhu)	Konsentrasi Cu (ppm) sesudah adsorbs	Jumlah Cu teradsorbsi (mg/g)	Efisiensi Penghilang (%)
$12,32 \pm 0,04$	1 M	373°K	$12,27 \pm 0,04$	0,00219	$0,3 \pm 0,4$
		393°K	$12,28 \pm 0,04$	0,00153	$0,2 \pm 0,4$
		413°K	$12,28 \pm 0,04$	0,00156	$0,2 \pm 0,4$
	1,5 M	373°K	$12,25 \pm 0,04$	0,00344	$0,5 \pm 0,4$
		393°K	$12,27 \pm 0,04$	0,00216	$0,3 \pm 0,4$
		413°K	$12,26 \pm 0,04$	0,00324	$0,5 \pm 0,4$

Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa kondisi optimum *fly ash* dalam mengadsorbsi ion logam Cu adalah *fly ash* yang diaktifasi dengan konsentrasi NaOH 1,5 M. *Fly ash* yang diaktifasi dengan konsentrasi NaOH 1 M tidak dapat bekerja dengan baik dalam mengadsorbsi ion logam Cu. Hal itu dikarenakan konsentrasi NaOH 1 M terlalu encer sehingga kinerja larutan NaOH 1 M dalam menghilangkan pengotor yang ada pada *fly ash* masih kurang baik. Dapat dilihat pada Tabel 5, bahwa konsentrasi awal ion logam Cu pada limbah cair lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi ion logam Cu pada limbah cair yang telah diberi *fly ash* teraktivasi. Artinya *fly ash* yang telah diaktifasi dengan larutan basa ketika digunakan sebagai adsorben pada limbah cair *electroplating* dapat mengurangi kandungan ion logam Cu pada limbah tersebut.

Tabel 5 menyatakan bahwa penurunan keseluruhan dari konsentrasi ion logam Cu tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan konsentrasi ion logam Cu semula. Konsentrasi awal ion logam Cu pada limbah cair yaitu sebesar ($12,32 \pm 0,04$) ppm, sedangkan konsentrasi ion logam Cu paling kecil setelah diberi *fly ash*

teraktivasi yaitu sebesar $(12,25 \pm 0,04)$ ppm. Maka dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *fly ash* teraktivasi NaOH 1,5 M dan 3 M dalam mengadsorbsi ion logam Cu pada limbah cair electroplating masih kurang baik, hal ini dapat dikarenakan bahwa konsentrasi awal limbah cair *electroplating* sudah sangat pekat sehingga sulit untuk diadsorbsi. Diketahuinya konsentrasi logam sebelum dan sesudah aktivasi, dapat digunakan untuk menghitung jumlah Cu teradsorbsi dan efisiensi penghilang dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Hasil perhitungan (lampiran 3) menunjukkan jumlah ion logam Cu paling kecil pada limbah cair yang telah diberi *fly ash* teraktivasi dengan konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 373°K yaitu sebesar 0,00344 mg/g dengan efisensi penghilang sebesar $(0,55 \pm 0,4)\%$.

Berdasarkan Tabel 4 hasil aktivasi dengan konsentrasi NaOH 1 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki konsentrasi ion logam Cu sebesar adalah $(12,27 \pm 0,04)$ ppm, $(12,28 \pm 0,04)$ ppm dan $(12,28 \pm 0,04)$ ppm. Pada NaOH 1,5 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki konsentrasi ion logam Cu sebesar adalah $(12,25 \pm 0,04)$ ppm, $(12,27 \pm 0,04)$ ppm dan $(12,24 \pm 0,04)$ ppm. Oleh sebab itu, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi limbah cair *electroplating* adalah saat konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 373°K dengan jumlah Fe teradsorbsi sebesar 0,00344 mg/g dan efisiensi penghilang $(0,55 \pm 0,4)\%$.

Berdasarkan hasil pengujian konsentrasi ion logam Cu, konsentrasi ion logam Cu paling baik setelah diberi *fly ash* teraktivasi NaOH 1,5 M pada suhu 373°K adalah sebesar $(12,25 \pm 0,04)$ ppm. Pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 02 Tahun 2011, air limbah yang dapat dialirkan ke lingkungan maksimal mengandung 1 ppm ion tembaga. Maka, dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan

bahwa limbah yang telah diberi *fly ash* teraktivasi tidak dapat memenuhi baku mutu maksimum air limbah yang mengandung ion tembaga. Artinya limbah tersebut belum dapat dialirkan atau dibuang ke sekitar lingkungan warga. Namun sudah dapat dikatakan bahwa *fly ash* mampu mengadsorbi ion logam Cu yang berada dalam limbah cair *electroplating* meskipun masih sedikit.

B. Hasil Uji TDS meter

Pada penelitian ini total zat padat terlarut diukur untuk mengetahui seberapa layak limbah cair tersebut dibuang disekitar pemukiman warga dan untuk mengetahui apakah adsorben *fly ash* yang telah teraktivasi dapat mengurangi total zat padat terlarut pada limbah cair. Berikut hasil dari uji TDS meter:

1. Hasil total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial

Pada proses pengujian total zat padat terlarut dengan adsorben *fly ash*, peneliti terlebih dahulu membuat limbah artifisial dari FeCl_3 . Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kemampuan *fly ash* dalam menyerap pengotor padat pada limbah cair dengan parameter zat padat terlarut. Hasil total zat padat terlarut dari sampel limbah cair artifisial disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Total Zat Padat Terlarut (TDS) pada Limbah Cair Artifisial

Limbah cair yang diberi <i>fly ash</i> teraktivasi	Aktivasi Kimia (NaOH)	Aktivasi Fisika (Suhu)	TDS (ppm)
1.5 M		373°K	923,0 ± 0,5
		393°K	877,0 ± 0,5
		413°K	859,0 ± 0,5
Limbah cair semula	-	-	2630,0 ± 0,5

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat secara keseluruhan nilai TDS semakin menurun setelah limbah cair artifisial diberi *fly ash* yang diaktivasi dengan suhu yang semakin tinggi. Hasil penyerapan *fly ash* teraktivasi terhadap pengotor padat paling baik adalah pada suhu 413°K yaitu sebesar $(859,0 \pm 0,5)$ ppm. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan aktivasi *fly ash* maka akan membentuk lebih banyak pori sehingga kemampuan dalam menyerap padatan terlarut menjadi lebih baik.

Berdasarkan Tabel 6 nilai total zat padat terlarut semula sebesar $(2630,0 \pm 0,5)$ ppm, kemudian setelah diaktivasi nilai TDS dengan konsentrasi NaOH 1 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki nilai TDS sebesar $(923,0 \pm 0,5)$ ppm, $(877,0 \pm 0,5)$ ppm dan $(859,0 \pm 0,5)$ ppm. Oleh sebab itu, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial adalah saat konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 413°K dengan nilai TDS sebesar $(859,0 \pm 0,5)$ ppm. Maka, dapat diketahui bahwa *fly ash* teraktivasi dapat mengurangi total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial.

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai total zat padat terlarut paling baik setelah diberi *fly ash* teraktivasi adalah sebesar $(859,0 \pm 0,5)$ ppm. Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 tentang parameter fisik dalam standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk keperluan higiene sanitasi, menyatakan bahwa kadar TDS yang diperbolehkan adalah 1000 ppm. Maka, dari pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa limbah yang telah diberi *fly ash* teraktivasi dapat memenuhi standar baku mutu TDS.

2. Hasil total zat padat terlarut pada limbah PDAM Tirta Wijaya Kroya

Setelah diperoleh hasil optimum total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial, selanjutnya dilakukan uji pada limbah cair PDAM Tirta Wijaya Kroya. Berdasarkan pengujian pada tiap variasi konsentrasi NaOH dan suhu aktivasi diperoleh hasil total zat padat terlarut seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Total Zat Padat Terlarut (TDS) pada Limbah Cair PDAM Tirta Wijaya

	Aktivasi kimia (NaOH)	Aktivasi Fisika (Suhu)	TDS (ppm)
Limbah cair yang diberi <i>fly ash</i> teraktivasi	1,5 M	373°K	55,0 ± 0,5
		393°K	47,0 ± 0,5
		413°K	57,0 ± 0,5
	3 M	373°K	134,0 ± 0,5
		393°K	101,0 ± 0,5
		413°K	141,0 ± 0,5
Limbah cair semula	-	-	115,0 ± 0,5

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat secara keseluruhan nilai TDS pada limbah cair yang telah diberi adsorben *fly ash* teraktivasi pada berbagai variasi konsentrasi dan suhu. Pada konsentrasi NaOH 1,5 M dan konsentrasi NaOH 3 M, diperoleh nilai TDS yang tidak stabil atau naik turun. Hal tersebut dapat dikarenakan konsentrasi NaOH 3 M lebih pekat, sehingga kondisi ini tidak dapat membersihkan pengotor *fly ash* dengan baik atau cenderung makin terikat kuat dengan pengotor akibat adanya aktivasi dengan konsentrasi NaOH yang pekat.

Berdasarkan Tabel 7 nilai total zat padat terlarut semula sebesar (115,0 ± 0,5) ppm, kemudian setelah diaktivasi nilai TDS dengan konsentrasi NaOH 1,5 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki nilai TDS sebesar

(55,0 ± 0,5) ppm, (47,0 ± 0,5) ppm dan (57,0 ± 0,5) ppm. Pada konsentrasi NaOH 3 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki nilai TDS sebesar (134, 0 ± 0,5) ppm, (101,0 ± 0,5) ppm dan (141,0 ± 0,5) ppm. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial adalah saat konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 393°K dengan nilai TDS sebesar (47,0 ± 0,5) ppm. Maka, dapat diketahui bahwa *fly ash* teraktivasi dapat mengurangi total zat padat terlarut.

Dilihat dari Tabel 7, nilai total zat padat terlarut paling baik setelah diberi *fly ash* teraktivasi adalah sebesar (47,0 ± 0,5) ppm. Pada Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 tentang parameter fisik dalam standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk keperluan higiene sanitasi, menyatakan bahwa kadar TDS yang diperbolehkan adalah 1000 ppm. Maka, dari pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa limbah yang telah diberi *fly ash* teraktivasi dapat memenuhi standar baku mutu TDS.

3. Hasil total zat padat terlarut pada limbah *electroplating* Kotagede

Pada penelitian ini untuk memastikan kemampuan adsorben *fly ash* dalam menyerap pengotor padat pada limbah cair dengan parameter zat padat terlarut, maka peneliti menggunakan limbah cair elektroplating yang sangat pekat untuk diadsorbsi. Berdasarkan pengujian pada tiap variasi konsentrasi dan variasi suhu diperoleh hasil seperti dalam Tabel 8.

Tabel 8. Total Zat Padat Terlarut (TDS) pada Limbah Cair Elektroplating Kotagede

	Aktivasi kimia (NaOH)	Aktivasi Fisika (Suhu)	TDS (ppm)
Limbah cair yang diberi <i>fly ash</i> teraktivasi	1 M	373°K	1160,0 ± 0,5
		393°K	1540,0 ± 0,5
		413°K	1770,0 ± 0,5
	1.5 M	373°K	1130,0 ± 0,5
		393°K	1140,0 ± 0,5
		413°K	1130,0 ± 0,5
Limbah cair semula	-	-	1920,0 ± 0,5

Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat secara keseluruhan nilai TDS pada limbah cair yang telah diberi adsorben *fly ash* teraktivasi pada berbagai variasi konsentrasi dan suhu. Pada konsentrasi NaOH 1 M diperoleh nilai TDS yang semakin naik, sedangkan pada konsentrasi 1,5 M diperoleh nilai TDS yang tidak stabil atau naik turun. Hal tersebut dapat dikarenakan konsentrasi NaOH 1 M lebih encer, sehingga NaOH 1 M tidak dapat membersihkan pengotor *fly ash* dengan baik atau maksimal.

Berdasarkan Tabel 8 nilai total zat padat terlarut semula sebesar (1920,0 ± 0,5) ppm, kemudian setelah diaktivasi nilai TDS dengan konsentrasi NaOH 1 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki nilai TDS sebesar (1160,0 ± 0,5) ppm, (1540,0 ± 0,5) ppm dan (1770,0 ± 0,5) ppm. Pada konsentrasi NaOH 1,5 M dengan suhu 373°K, 393°K dan 413°K berturut-turut memiliki nilai TDS sebesar (1130, 0 ± 0,5) ppm, (1140,0 ± 0,5) ppm dan (1130,0 ± 0,5) ppm. Pada suhu 373 °K dengan suhu 413°K saat konsentrasi 1,5 M memiliki nilai TDS yang sama yaitu (1130, 0 ± 0,5) ppm, akan tetapi bila dilihat dari efisiensi pemakaian energi lebih baik bila menggunakan suhu 373°K karena lebih hemat energi (listrik). Dari hasil

tersebut, maka dapat diketahui bahwa adsorben *fly ash* paling baik dalam mengadsorbsi total zat padat terlarut pada limbah cair artifisial adalah saat konsentrasi NaOH 1,5 M pada suhu 373°K dengan nilai TDS sebesar ($1130,0 \pm 0,5$) ppm.

Dilihat dari Tabel 8, nilai total zat padat terlarut paling kecil setelah diberi *fly ash* teraktivasi adalah sebesar ($1130,0 \pm 0,5$) ppm. Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017 tentang parameter fisik dalam standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk keperluan higiene sanitasi, kadar TDS yang diperbolehkan adalah 1000 ppm. Maka, dari pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa limbah yang telah diberi *fly ash* teraktivasi tidak dapat memenuhi standar baku mutu TDS. Namun penelitian ini sudah dapat dikatakan mampu mengadsorbi zat padat terlarut yang berada dalam limbah cair *electroplating* meskipun masih sedikit.

C. Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)

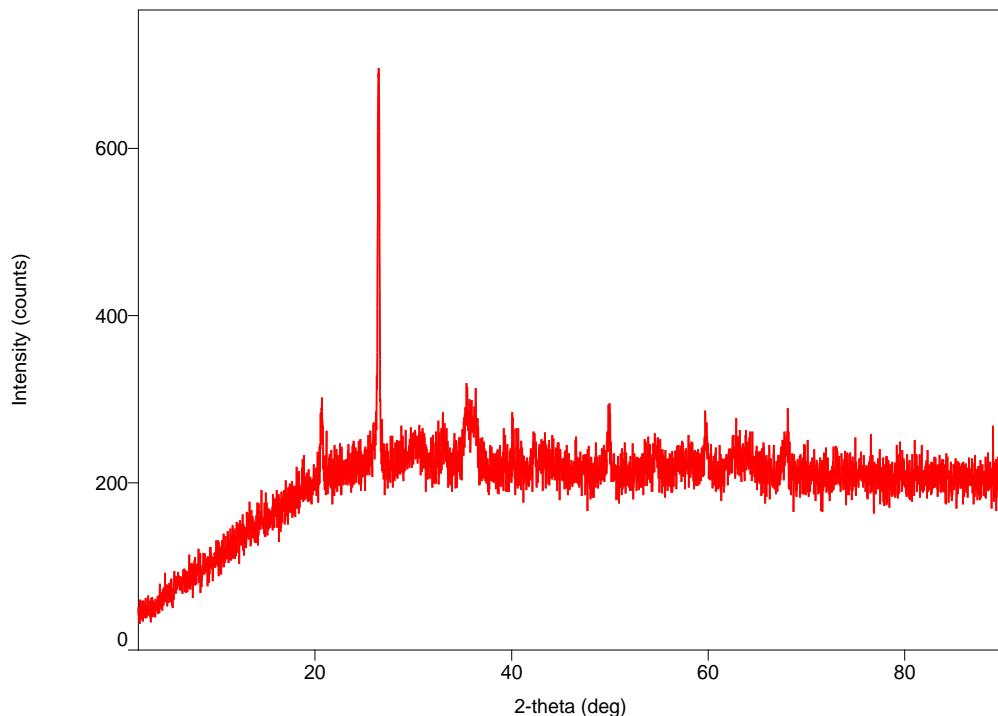
Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal serta kandungan mineral dari *fly ash* sebelum dan sesudah diaktivasi. Pada karakterisasi XRD ini digunakan instrumen *Miniflex 600* yang diproduksi oleh *Rigaku*. Keluaran hasil karakterisasi dibaca menggunakan perangkat lunak *Miniflex PDXL* berupa data 2θ dan intensitas.

Cara karakterisasi XRD diawali dengan menempatkan sampel pada dudukan, kemudian sinar-X dikenakan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu, sehingga akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang yang berjarak d dan sudut 2θ yang memenuhi difraksi Bragg. Data yang diperoleh dari analisis XRD berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara sudut variasi (2θ) dengan intensitas

puncak spektrum (I). Pengamatan difraksi sinar-X dilakukan pada sudut $2\theta = 2,01^\circ$ sampai $89,99^\circ$ dengan panjang gelombang (λ) Cu-K α 1,54059 Å.

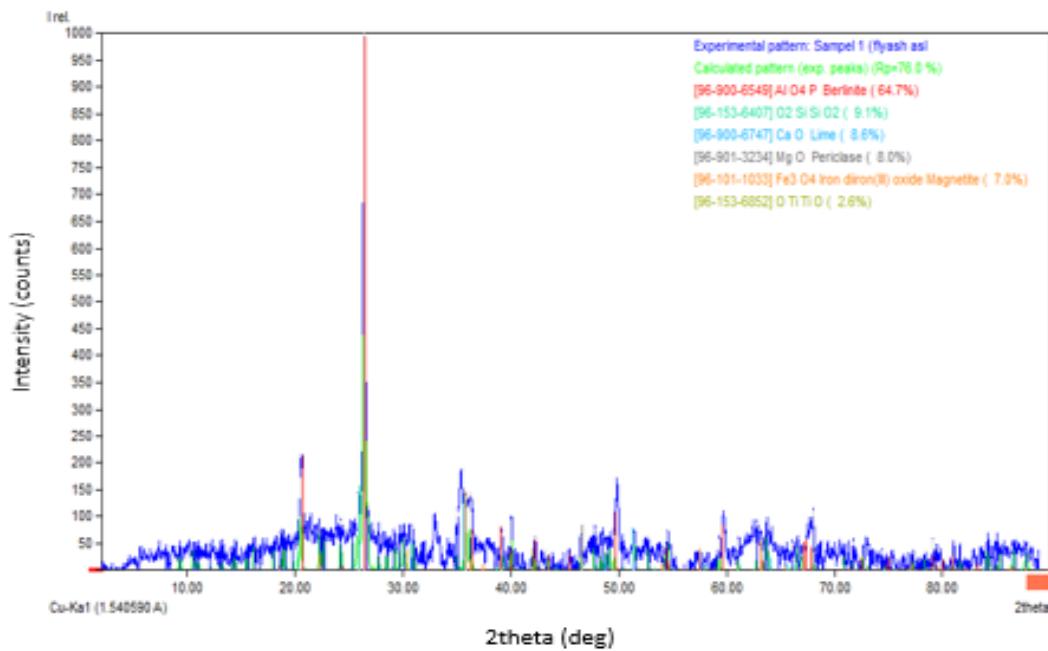
1. Karakterisasi struktur kristal menggunakan XRD(*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi struktur kristal *fly ash* dilakukan dengan menggunakan XRD. *Fly ash* hasil aktivasi yang diuji dengan XRD hanya 1 dari 9, karena hanya dicari 1 sampel adsorben *fly ash* yang berada dalam keadaan optimum ketika adsorben dikontakkan dengan 3 variasi limbah cair. Sampel *fly ash* teraktivasi yang paling optimum dalam mengadsorbsi logam pada limbah cair yaitu *fly ash* saat diaktifasi dengan NaOH 1,5 M pada suhu 413°K. Setelah diketahui adsorben *fly ash* paling optimum, kemudian dikarakterisasi dengan XRD. Hasil yang diperoleh dari XRD dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 12.



Gambar 10. Difraktogram Hasil Analisis XRD dari *Fly Ash* Batubara Murni

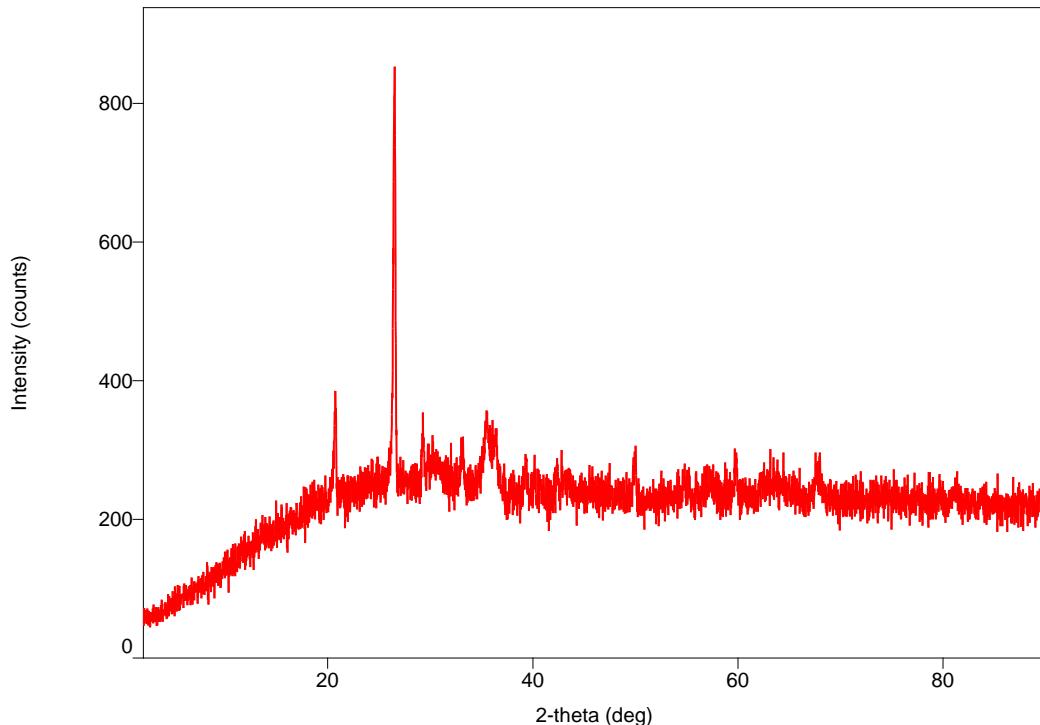
Pada Gambar 10. Hasil XRD menunjukkan adanya puncak difraksi pada sudut 2θ : $20,59^\circ$; $26,474^\circ$; $35,54^\circ$ dan $63,2^\circ$ dengan intensitas relatif tinggi dibanding dengan sudut-sudut yang lain. Hasil XRD tersebut diolah dengan perangkat lunak *Match* untuk mengetahui struktur kristalnya. Berikut adalah hasil analisis menggunakan *Match* pada *fly ash* sebelum diaktivasi ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Analisis *Match* pada Fly Ash Batubara Murni

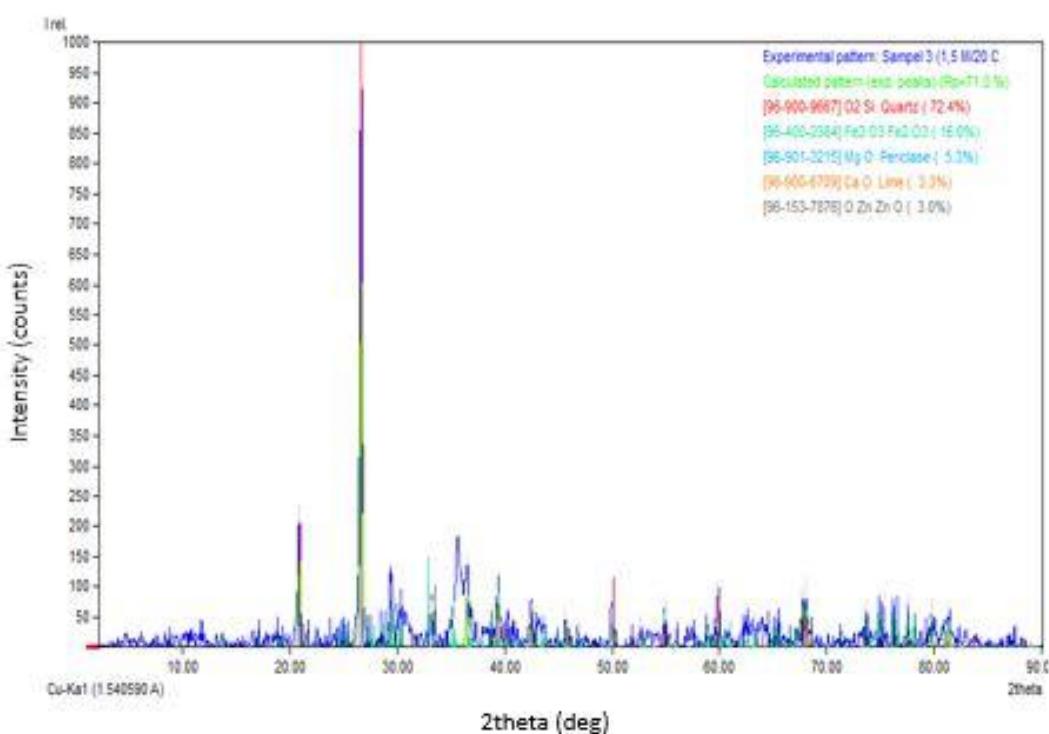
Berdasarkan Gambar 11 diperoleh informasi mengenai struktur kristal *fly ash*. Menggunakan perangkat lunak *Match*, analisis struktur kristal dapat dilakukan dengan mencocokan puncak difraksi dengan data base dari COD (*Crystallography Open Database*) yang sudah tersedia dalam perangkat lunak *Match*. Puncak difraksi hasil XRD menunjukkan kemiripan dengan puncak data *base* pada analisis *Match*, yaitu pada sudut 2θ : $20,74^\circ$; $26,41^\circ$; $49,67^\circ$ dan $59,55^\circ$. Puncak difraksi hasil analisis *Match* menunjukkan adanya kandungan utama *fly ash* murni berupa mineral berlinite (AlO₄P). Berdasarkan data hasil penghalusan menunjukkan

bahwa berlinita (AlO_4P) memiliki struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a=b=4,94140 \text{ \AA}$ dan $c=10,94700 \text{ \AA}$, sesuai dengan data *base* dalam COD.



Gambar 12. Difraktogram Hasil Analisis XRD dari *Fly Ash* Teraktivasi dengan NaOH 1,5 M pada Suhu 413°K

Pada Gambar 12. Hasil XRD menunjukkan adanya puncak difraksi pada sudut 2θ : $20,58^\circ$; $26,505^\circ$; $35,58^\circ$ dan $63,3^\circ$ dengan intensitas relatif tinggi dibanding dengan sudut-sudut yang lain. Hasil XRD tersebut diolah dengan perangkat lunak *Match* untuk mengetahui struktur kristalnya. Berikut adalah hasil analisis menggunakan *Match* pada *fly ash* setelah diaktivasi ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Analisis *Match* pada Fly Ash Teraktivasi NaOH 1,5 M dengan Suhu 413°K

Berdasarkan Gambar 13 analisis yang telah dilakukan tersebut maka dapat diperoleh informasi mengenai struktur kristal *fly ash*. Menggunakan perangkat lunak *Match*, analisis struktur kristal dapat dilakukan dengan mencocokan puncak difraksi dengan data base dari COD (*Crystallography Open Database*) yang sudah tersedia dalam perangkat lunak *Match*. Puncak difraksi hasil XRD menunjukkan kemiripan dengan puncak data *base* pada analisis *Match*, yaitu pada sudut 2θ: 20,84°; 26,62°; 36,53° dan 50,10°. Puncak difraksi hasil analisis *Match* menunjukkan adanya kandungan utama *fly ash* murni berupa mineral quarts (SiO₂). Berdasarkan data hasil penghalusan menunjukkan bahwa quarts (SiO₂) memiliki struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a=b=4,91344 \text{ \AA}$ dan $c=5,40524 \text{ \AA}$, sesuai dengan data *base* dalam COD. Data hasil COD bila dibandingkan dengan

data JCPDS quarts (SiO_2) no 46-1045 nilai parameters kisinya $a=b=4,91344 \text{ \AA}$ dan $c=5,40524 \text{ \AA}$. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai parameter pada *fly ash* teraktivasi $\text{NaOH} 1,5 \text{ M}$ pada suhu 413°K tidak berbeda jauh dengan data JCPDS.

Pada Gambar 11 dan Gambar 13 apabila dibandingkan terlihat perbedaan intensitas. Intensitas saat *fly ash* belum teraktivasi memiliki intensitas tertinggi (Gambar 11) sebesar 700 cps, sedangkan pada *fly ash* teraktivasi $\text{NaOH} 1,5 \text{ M}$ dengan suhu 413°K memiliki intensitas tertinggi (Gambar 13) sebesar 900 cps. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa dengan adanya aktivasi basa dan suhu tinggi dapat meningkatkan intensitas relatif (I), yang berarti terjadi kenaikan kristalinitas produk. Adanya aktivasi kimia dan fisika pada *fly ash* dapat menyebabkan semakin meningkatnya produk atau kristal yang dihasilkan. Munculnya banyak puncak pada Gambar 11 dan Gambar 13, menunjukkan bahwa kristanilitas dan homogenitas mineral dalam *fly ash* masih rendah, karena masih terlalu banyak kandungan senyawa kimia didalamnya yang belum hilang.

2. Kandungan mineral *fly ash* sebelum dan sesudah aktivasi

Karakterisasi dengan XRD dapat digunakan untuk mengetahui kandungan mineral dari *fly ash* batubara. Kemudian dari hasil karakterisasi XRD dapat diperoleh informasi mengenai kandungan mineral *fly ash*. Analisis kandungan mineral *fly ash* dengan menggunakan perangkat lunak *Match*. Hasil dari analisis *Match* adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Analisis Kandungan mineral *Fly Ash* Batubara Murni dengan Aplikasi *Match*

No	Mineral	Formula	Konsentrasi (%)
1.	Berlinite	AlO_4P	$64,7 \pm 10,0$
2.	Quarts	SiO_2	$9,1 \pm 10,0$
3.	Lime	CaO	$8,6 \pm 10,0$
4.	Periclase	MgO	$8,0 \pm 10,0$
5.	Iron diiron (III) oxide Magnetite	Fe_3O_4	$7,0 \pm 10,0$
6.	TiO	TiO	$2,6 \pm 10,0$

Tabel 10. Hasil Analisis Kandungan mineral Fly Ash Teraktivasi saat NaOH 1,5 M pada Suhu 413°K dengan Aplikasi *Match*

No	Mineral	Formula	Konsentrasi (%)
1.	Quarts	SiO_2	$72,4 \pm 10,0$
2.	Fe_2O_3	Fe_2O_3	$16,0 \pm 10,0$
3.	Periclase	MgO	$5,3 \pm 10,0$
4.	Lime	CaO	$3,3 \pm 10,0$
5.	ZnO	ZnO	$3,0 \pm 10,0$

Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa hasil analisis dari *Match* menunjukkan bahwa mineral yang paling dominan saat *fly ash* tidak teraktivasi adalah berlinite (AlO_4P) sebesar ($64,7 \pm 10,0$) % dan Silika ($9,1 \pm 10,0$) %. Tabel 10 menunjukkan bahwa mineral yang paling dominan saat *fly ash* teraktivasi NaOH 1,5 M pada suhu 413°K adalah quartz (SiO_2) sebesar ($72,4 \pm 10,0$) % dan Fe_2O_3 sebesar ($16,0 \pm 10,0$) %. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan mengaktivasi *fly ash* dapat menghilangkan dan mengubah kandungan mineral paling dominan. *Fly ash* teraktivasi NaOH 1,5 M pada suhu 413°K menghasilkan mineral yang dibutuhkan dalam proses adsorbsi yaitu SiO_2 atau silika. Hal tersebut juga didukung Lasryza

A. dan D. Sawitri dalam penelitiannya tentang pemanfaatan *fly ash* batubara sebagai adsorben emisi gas CO pada kendaraan bermotor. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa mineral yang dibutuhkan dalam proses adsorbsi adalah mineral yang mengandung unsur silika (Lasryza, A. dan D. Sawitri, 2012).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. *Fly ash* yang telah diaktivasi dengan metode kimia dan metode fisika dapat berpengaruh terhadap proses adsorbsi kandungan logam Fe dan logam Cu pada limbah cair. *Fly ash* teraktivasi mampu mengurangi konsentrasi ion logam Fe sehingga dapat memenuhi standar baku mutu kandungan Fe untuk air bersih serta air minum. Kandungan ion logam Fe pada limbah cair artifisial setelah diadsorbsi memiliki konsentrasi Fe paling kecil sebesar $(0,31 \pm 0,04)$ ppm dengan efisiensi penghilang 86,91% dan limbah cair PDAM Tirta Wijaya setelah diadsorbsi memiliki konsentrasi Fe paling kecil sebesar $(0,00 \pm 0,04)$ ppm dengan efisiensi penghilang 100%. Akan tetapi, kandungan logam Cu pada limbah cair *electroplating* setelah diberi *fly ash* teraktivasi tidak dapat memenuhi standar baku mutu kandungan Cu untuk air limbah yang dapat dialirkan ke lingkungan meskipun sudah berkurang dari semula. Pada kandungan logam Cu pada limbah cair *electroplating* setelah diadsorbsi memiliki konsentrasi Cu paling kecil sebesar $(12,25 \pm 0,04)$ ppm dengan efisiensi penghilang 0,55%.
2. *Fly ash* yang telah diaktivasi dengan metode kimia dan metode fisika dapat berpengaruh terhadap total zat padat terlarut pada limbah cair. Nilai TDS pada limbah cair dapat berkurang setelah diberi *fly ash* teraktivasi. Hasil pengukuran total zat padat terlarut dengan alat TDSmeter pada limbah cair artifisial memiliki nilai TDS paling kecil sebesar $(923,0 \pm 0,5)$ ppm dan

limbah cair PDAM Tirta Wijaya memiliki nilai TDS paling kecil sebesar $(47,0 \pm 0,5)$ ppm. Hasil pengukuran tersebut mengalami penurunan sehingga memenuhi standar baku mutu TDS. Akan tetapi pada limbah cair *electroplating* memiliki nilai TDS paling kecil sebesar $(1130,0 \pm 0,5)$ ppm, hasil yang diperoleh tidak memenuhi standar baku mutu TDS meskipun sudah berkurang dari semula.

3. Karakteristik adsorben *fly ash* sebelum dan sesudah aktivasi menunjukkan bahwa aktivasi *fly ash* tidak merubah struktur kristal yaitu berbentuk heksagonal. Akan tetapi, pada kandungan mineral paling dominan pada adsorben *fly ash* mengalami perubahan. Kandungan mineral *fly ash* paling dominan sebelum diaktivasi yaitu tersusun atas mineral berlinite (AlO_4P). Namun setelah *fly ash* diaktivasi tersusun atas mineral quarts (SiO_2), mineral quarts (SiO_2) merupakan material yang dibutuhkan dalam proses adsorbsi.

B. Saran

Berbagai tindak lanjut yang dapat disarankan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pada penelitian ini dirasa masih kurang lama dalam proses pengontakan adsorben *fly ash* dengan limbah cair, sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan variasi waktu pengontakan untuk mengetahui waktu optimum *fly ash* saat mengadsorbsi logam pada limbah cair.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui daya adsorbsi *fly ash* terhadap logam berat selain besi (Fe) dan tembaga (Cu) yang terdapat dalam limbah cair.

3. Perlunya penelitian lebih lanjut pada saat aktivasi kimia dalam suasa asam, sehingga dapat menjadi pembanding dengan aktivasi kimia pada suasana basa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariswan. (2010). *Zat Padat, Handout Kuliah*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Chen Bin & Jin Zhang. JCPDS Database. Diambil pada tanggal 7 Mei 2018, dari <http://comptech.compres.us/tools/jcpds/>
- Darmono. (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Day, R.A & A. L. Underwood. (2002). *Analisis Kimia Kuantitatif/Edisis Keenam*. (Terjemahan Iis Sopyan). Jakarta: Erlangga. (Edisi asli diterbitkan tahun 1998 oleh Prentice-Hall Inc).
- Dini, Silvia. (2011). *Evaluasi Kualitas Air Sungai Ciliwung di Provinsi Daerah Khusu Ibukota Jakarta Tahun 2000-2010*. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Faradilla, A. R., Hernani Y., & Endro S. (2016). *Pemanfaatan Fly Ash sebagai Adsorben Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida pada Emisi Kendaraan Bermotor*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Cendekiawan, di Universitas Trisakti.
- Fridawati, Mika. (2008). *Analisa Struktur Kristal dari Lapisan Tipis Alumunium (Al) dengan Metode Difraksi Sinar-X*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi: Universitas Sanata Darma.
- G, Ferdinand Delesev. (2008). *Pengujian Alat Pendingin Dua Adsorber dengan Menggunakan Methanol 1000ml sebagai Refrigren*. Skripsi. Fakultas Teknik: Universitas Indonesia.
- Haryanti, Ninis Hadi. (2014). Uji Abu Terbang PLTU Asam Asam sebagai Pembuatan Bata Ringan. *Jurnal Fisika FLUX*, Vol. 11 No. 2. Diambil pada tanggal 7 Maret 2018, dari unlam.ac.id/journal
- Haryanto, Yanuar, Gathot Heri Sudibyo, dan Fatkhurrozak. (2016). Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Bata Beton (Paving Block). *Jurnal Dinamika Rekayasa*. Vol. 4 No. 2. Diambil pada tanggal 7 Maret 2018, dari <http://dinarek.unsoed.ac.id/jurnal>
- Hasni, Nur Alfi Mufida dan Ade Maria Ulfa. (2016). Penetapan Kadar Logam Besi (Fe) pada Air Sumur Galian Warga Sekitar Industri “X” Kecamatan Panjang dengan Metode Spektrosfotometri Serapan Atom. *Jurnal Analis Farmasi*, Vol. 1 No. 3. Diambil pada tanggal 3 Maret 2018, dari www.e-jurnal.com

- Irawan, C., Basri D., & Nawang R. (2015). 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*, Vol. 3 No. 2. Diambil pada tanggal 5 November 2017, dari jurnal.poltekba.ac.id
- Kusuma, I D. Gede D. P., N. M. Wiratini, & I G. L. Wiratma. (2014). Isoterm Adsorpsi Cu²⁺ oleh Biomassa Rumput Laut *Eucheuma Spinosum*. *e-Journal Kimia Visvitalis Universitas Pendidikan Ganesha*, Vol. 2 No.1. Diambil pada tanggal 9 Maret 2018, dari ejournal.undiksha.ac.id
- Lasryza, Ayu dan Dyah Sawitri. (2012). Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben Emisi Gas CO₂ pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. 1 No. 1. Diambil pada tanggal 1 November 2017, dari digilib.its.ac.id/publik
- Lestari, Yuliani Tri. (2013). *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Adsorben untuk Penentuan Kadar Gas NO₂ di Udara*. Skripsi. Jurusan Kimia: Universitas Jember.
- Mufrodi, Zahrul, Bachrun S. dan Arif H. (2010). *Modifikasi Limbah Abu Layang sebagai Material Baru Adsorben*. Makalah disajikan dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”, di Universitas Ahmad Dahlan.
- Muis, Saludin. (2013). *Teknologi Nano (Jilid 1)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mukti, Kusnanto. (2012). *Makalah Fabrikasi dan Karakterisasi XRD (X-Ray Difractometer)*. Diambil pada tanggal 9 Maret 2018, dari kusnantomukti.blog.uns.ac.id
- Nova, D. (2012). *Pengaruh Alur Pemanasan Terhadap Karakter Bahan Semikonduktor Pb(Se0,6Te0,4) Hasil Preparasi dengan Teknik Brigman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nurhayati, D. N., Bakti M. & Nurma Y.I. (2013). *Karakterisasi Limbah Fly Ash Batubara sebagai Material Konversi Adsorben dan Uji Ketahanan Panas Struktur Padatan*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV, di Univesitas Sebelas Maret Surakarta.
- Nurhidayati. (2010). *Pemanfaatan Karbon Aktif Pasar Kayu Sengon sebagai Adsorben Logam Berat Cu pada Limbah Simulasi Cu*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Peraturan Pemerintah. (1999). *Peraturan Pemerintah No.85 Tahun 1999 Tentang Perubahan aras Peraturan Pemerintah no.18 Tahun 1999 Tentang pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Permenkes. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*.

- Permenkes. (2011). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 Tahun 2011 Tentang Persyaratan Air Limbah*.
- Permenkes. (2017). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Persyaratan Kualitas Air Bersih*.
- Poermomo, Herry. (2009). Karakteristik Fisik Partikel Nano Abu Layang sebagai Bahan Urug pada Penyimpanan Limbah Radioaktif. [Versi Elektronik]. Indo. J. Chem, 9 (1), 28-36.
- Primawati, Fissa Septy. (2016). *Sistem Penjernihan Air Groundtank LPPMP UNY sebagai Air Minum dengan Memanfaatkan Karbon Aktif Batok Kelapa, Pasir Aktif Pantai Indrayanti, dan Kerikil Aktif Kali Krasak*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sari, Ni Ketut. (2010). *Analisa Instrumentasi*. Klaten: Yayasan Humaniora.
- Suci, F. C. (2012). *Pemanfaatan Abu Layang Batubara (Fly Ash) Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi: Universitas Airlangga Surabaya.
- Suryanarayana, C & M. Grant Norton. (1998). *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Pless.
- Suyanta dan Siti K. (2016). *Perbandingan Hasil Analisis Ion Logam Ca dalam sampel Air Kolam Renang dengan Tehnik AAS dan ICP AES*. Makalah disajikan dalam Seminar Kimia, di Universitas Negeri Yogyakarta.
- Tualeka, M. K. (2016). *Sintesis Zeolit dari Abu Layang (Fly Ash) dengan Metode Hidrotermal dan Uji Adsorbtivitas terhadap Logam Tembaga (Cu)*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi: Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Widiastuti, N., Hongwei W., Ha Ming A., et al. (2011). Removal of ammonium from greywater using natural zeolite. *Desalination*, 277, 15–23. Diambil pada tanggal 7 Maret 2018, dari www.elsevier.com/locate/desal
- Widyaningsih S., Ely S., & Tien S. (2011). Karakterisasi Abu Terbang PLTU Cilacap untuk Menurunkan Kesadahan Air di Desa Darmakardenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas. *Molekul*, 6, 35–39. Diambil pada tanggal 10 April 2018, dari jmolekul.com
- Witono, Judy R.B. & Arry M. (2015). Pengembangan Adsorben Activated Fly Ash untuk Reduksi Ion Cu²⁺ dan Cr⁶⁺ dalam Limbah Cair Industri Tekstil. Diambil pada tanggal 1 November 2017, dari journal.unpar.ac.id

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

1. Konsentrasi Fe pada limbah cair artifisial

Fe									Friday, 20 April 2018	
Besi Asli fp 100x : UNK Average										
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#			
2.3909	0.2792	0.0020	2.3909	NONE		0.50	01			
Percobaan 1 1,5 M fp 10x : UNK										
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.4588	0.0543	0.0011	0.4588	20/04/2018	10:09:35 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.4717	0.0558	-0.0001	0.4717	20/04/2018	10:09:45 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.4674	0.0553	0.0002	0.4674	20/04/2018	10:09:51 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Percobaan 1 1,5 M fp 10x : UNK Average										
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#			
0.4657	0.0551	0.0004	0.4657	NONE		1.39	01			
Percobaan 2 1,5 M fp 10x : UNK										
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.3240	0.0386	0.0002	0.3240	20/04/2018	10:10:10 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.3326	0.0396	-0.0008	0.3326	20/04/2018	10:10:19 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.3257	0.0388	0.0016	0.3257	20/04/2018	10:10:25 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Percobaan 2 1,5 M fp 10x : UNK Average										
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#			
0.3274	0.0390	0.0003	0.3274	NONE		1.36	01			
Percobaan 3 1,5 M fp 10x : UNK										
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.3137	0.0374	0.0006	0.3137	20/04/2018	10:10:42 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time					
0.3102	0.0370	0.0002	0.3102	20/04/2018	10:10:51 AM(+0700)					
User Name	Device Name									
System Administrator	AA									

Fe

Friday, 20 April 2018

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.3137	0.0374	0.0009	0.3137	20/04/2018	10:10:57 AM(+0700)
User Name		Device Name			
System Administrator		AA			
Percobaan 3 1,5 M fp 10x : UNK Average					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit %RSD C#
0.3128	0.0373	0.0006	0.3128	NONE	0.62 01

2. Konsentrasi Fe pada limbah cair PDAM Tirtawijaya Kroya

Fe						Tuesday, 6 February 2018
: UNK						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0602	0.0079	-0.0021	0.0602	16/01/2018	10:53:08 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0585	0.0077	-0.0024	0.0585	16/01/2018	10:53:17 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0559	0.0074	-0.0024	0.0559	16/01/2018	10:53:23 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
: UNK Average						
			Actual Conc.	Unit	C#	
			NONE		01	
Fe kulit Jeruk : UNK						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0577	0.0076	-0.0019	0.0577	16/01/2018	10:54:33 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0551	0.0073	-0.0020	0.0551	16/01/2018	10:54:42 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0637	0.0083	-0.0026	0.0637	16/01/2018	10:54:48 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Fe kulit Jeruk : UNK Average						
			Actual Conc.	Unit	C#	
			NONE		01	
A 1,5 M Per 1 : UNK						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
0.0052	0.0015	-0.0033	0.0052	6/02/2018	8:13:06 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
-0.0025	0.0006	-0.0029	-0.0025	6/02/2018	8:13:15 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
-0.0042	0.0004	-0.0026	-0.0042	6/02/2018	8:13:21 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator AA						

A 1,5 M Per 1 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
-0.0008	0.0008	-0.0029	-0.0008	NONE		70.31	01

B 3 M Per 1 : UNK

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0087	0.0019	-0.0023	0.0087	6/02/2018	8:13:44 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0035	0.0013	-0.0022	0.0035	6/02/2018	8:13:53 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

B 3 M Per 1 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0018	0.0011	-0.0011	0.0018	6/02/2018	8:13:59 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

B 3 M Per 1 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
0.0044	0.0014	-0.0019	0.0044	NONE		29.05	01

C 1,5 M Per 2 : UNK

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0061	0.0016	-0.0021	0.0061	6/02/2018	8:14:21 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0035	0.0013	-0.0022	0.0035	6/02/2018	8:14:30 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0035	0.0013	-0.0027	0.0035	6/02/2018	8:14:36 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

C 1,5 M Per 2 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
0.0044	0.0014	-0.0023	0.0044	NONE		12.37	01

D 3 M Per 2 : UNK

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0121	0.0023	-0.0021	0.0121	6/02/2018	8:14:55 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0104	0.0021	-0.0022	0.0104	6/02/2018	8:15:05 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0104	0.0021	-0.0020	0.0104	6/02/2018	8:15:10 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
D 3 M Per 2 : UNK Average					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit %RSD C#
0.0113	0.0022	-0.0021	0.0113	NONE	5.33 01
E 1,5 M Per 3 : UNK					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0001	0.0009	-0.0024	0.0001	6/02/2018	8:15:28 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
-0.0033	0.0005	-0.0018	-0.0033	6/02/2018	8:15:37 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0001	0.0009	-0.0032	0.0001	6/02/2018	8:15:43 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
E 1,5 M Per 3 : UNK Average					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit %RSD C#
-0.0008	0.0008	-0.0025	-0.0008	NONE	30.12 01
F 3 M Per 3 : UNK					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
-0.0025	0.0006	-0.0016	-0.0025	6/02/2018	8:16:01 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0027	0.0012	-0.0017	0.0027	6/02/2018	8:16:10 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.0010	0.0010	-0.0028	0.0010	6/02/2018	8:16:16 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					
F 3 M Per 3 : UNK Average					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit %RSD C#
0.0001	0.0009	-0.0020	0.0001	NONE	32.73 01
G Sampel Awal : UNK					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.1479	0.0181	-0.0018	0.1479	6/02/2018	8:16:34 AM(+0700)
<u>User Name</u> Device Name					
System Administrator AA					

Fe

Tuesday, 6 February 2018

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.1702	0.0207	-0.0019	0.1702	6/02/2018	8:16:43 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
0.1530	0.0187	-0.0017	0.1530	6/02/2018	8:16:49 AM(+0700)

User Name Device Name
System Administrator AA

G Sampel Awal : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
0.1573	0.0192	-0.0018	0.1573	NONE			7.10 01

3. Konsentrasi Cu pada limbah cair *electroplating*

Cu							Monday, 2 April 2018		
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.3310	2.1767	0.1363	12.3310	2/04/2018	10:51:59 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.3162	2.1741	0.1366	12.3162	2/04/2018	10:52:04 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
Sampel Awal : UNK Average									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#		
12.3202	2.1748	0.1364	12.3202	NONE		0.07	01		
B 1,5 M Percb 1 : UNK									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.2639	2.1649	0.0375	12.2639	2/04/2018	10:52:27 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.2542	2.1632	0.0376	12.2542	2/04/2018	10:52:36 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.2366	2.1601	0.0374	12.2366	2/04/2018	10:52:42 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
B 1,5 M Percb 1 : UNK Average									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#		
12.2514	2.1627	0.0375	12.2514	NONE		0.11	01		
C. 1,5 M Percb 2 : UNK									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.2741	2.1667	0.0402	12.2741	2/04/2018	10:53:01 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.2775	2.1673	0.0405	12.2775	2/04/2018	10:53:10 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time				
12.2787	2.1675	0.0404	12.2787	2/04/2018	10:53:16 AM(+0700)				
User Name	Device Name								
System Administrator	AA								
C. 1,5 M Percb 2 : UNK Average									
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#		
12.2770	2.1672	0.0404	12.2770	NONE		0.02	01		

Cu

Monday, 2 April 2018

D. 1,5 M Percb. 3 : UNK						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2633	2.1648	0.0368	12.2633	2/04/2018	10:53:33 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2479	2.1621	0.0372	12.2479	2/04/2018	10:53:42 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2548	2.1633	0.0368	12.2548	2/04/2018	10:53:48 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
D. 1,5 M Percb. 3 : UNK Average						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit %RSD	C#
12.2553	2.1634	0.0369	12.2553	NONE		0.06 01
E. 1 M Percb 4 : UNK						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2724	2.1664	0.0408	12.2724	2/04/2018	10:54:05 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2826	2.1682	0.0406	12.2826	2/04/2018	10:54:14 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2741	2.1667	0.0403	12.2741	2/04/2018	10:54:20 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
E. 1 M Percb 4 : UNK Average						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit %RSD	C#
12.2764	2.1671	0.0406	12.2764	NONE		0.04 01
F. 1M percb 5 : UNK						
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.3026	2.1717	0.0376	12.3026	2/04/2018	10:54:42 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2889	2.1693	0.0376	12.2889	2/04/2018	10:54:51 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time	
12.2770	2.1672	0.0373	12.2770	2/04/2018	10:54:57 AM(+0700)	
<u>User Name</u> <u>Device Name</u>						
System Administrator	AA					

F. 1M percb 5 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
12.2895	2.1694	0.0375	12.2895	NONE		0.10	01

G. 1M Percb 6 : UNK

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2832	2.1683	0.0399	12.2832	2/04/2018	10:55:17 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2991	2.1711	0.0391	12.2991	2/04/2018	10:55:27 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2849	2.1686	0.0389	12.2849	2/04/2018	10:55:32 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

G. 1M Percb 6 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
12.2889	2.1693	0.0393	12.2889	NONE		0.07	01

H. 3 M Percb 7 : UNK

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2559	2.1635	0.0443	12.2559	2/04/2018	10:55:50 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2923	2.1699	0.0438	12.2923	2/04/2018	10:55:59 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2616	2.1645	0.0438	12.2616	2/04/2018	10:56:05 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

H. 3 M Percb 7 : UNK Average

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	%RSD	C#
12.2701	2.1660	0.0440	12.2701	NONE		0.16	01

Sampel Limbah Mhsw Biologi fp 10x : UNK

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.3099	2.1730	0.0493	12.3099	2/04/2018	10:56:31 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Date	Time
12.2997	2.1712	0.0493	12.2997	2/04/2018	10:56:40 AM(+0700)

User Name Device Name
 System Administrator AA

Lampiran 2. Hasil Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

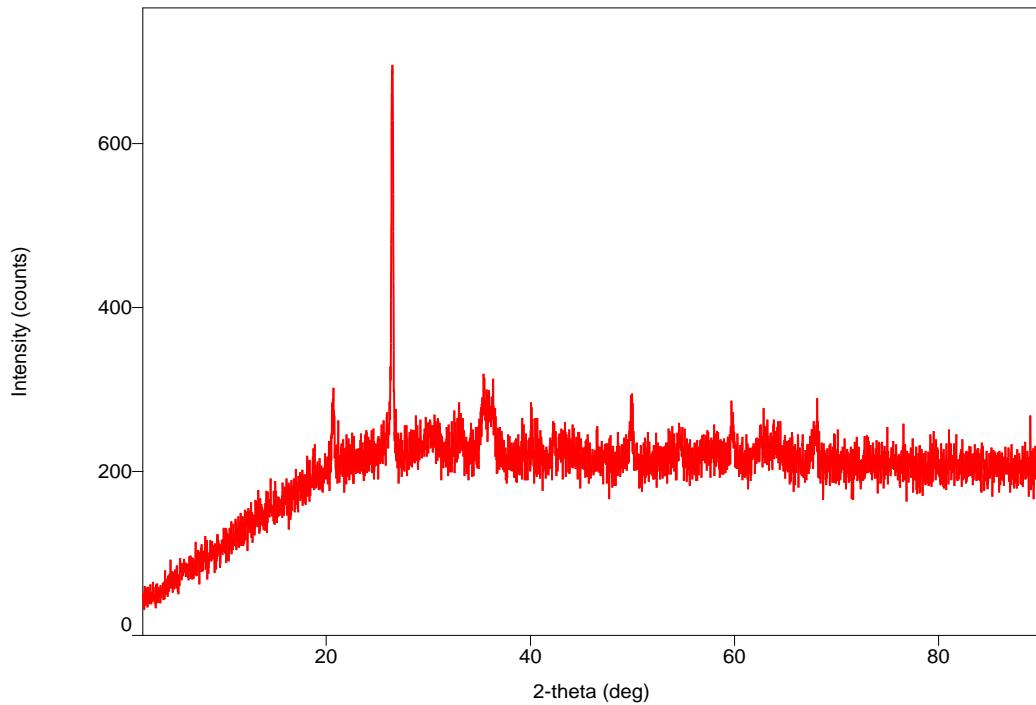
1. Difaktogram sampel 1

Peak List

General information

Analysis date 2018/05/02 10:26:11
Sample name Sampel 1 (flyash asli) Measurement date 2018/05/02 10:05:37
File name 419-xrd-2018.ras Operator administrator
Comment

Measurement profile



Peak list

No	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I (counts deg)	Int. W (deg)	Asym. factor
1	20.59(15)	4.31(3)	22(5)	2.6(4)	120(9)	5.5(16)	0.43(13)
2	26.474(8)	3.3640(10)	376(19)	0.173(13)	89(3)	0.237(19)	1.4(8)
3	35.54(4)	2.524(2)	39(6)	1.17(10)	49(6)	1.3(3)	0.5(2)
4	63.2(2)	1.471(4)	13(4)	4.3(9)	122(11)	9(3)	0.9(5)

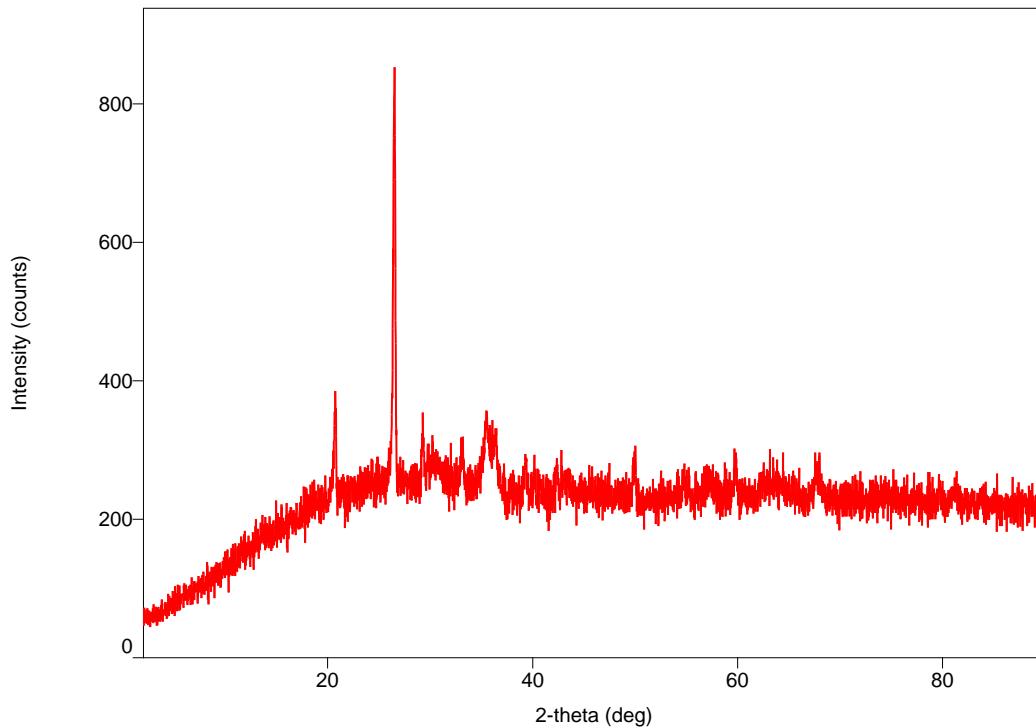
2. Difaktogram sampel 2

Peak List

General information

Analysis date	2018/05/02 10:36:11		
Sample name	Sampel 3 (1,5 M/20 C)	Measurement date	2018/05/02 10:25:11
File name	420-xrd-2018.ras	Operator	administrator
Comment			

Measurement profile



Peak list

No	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I (counts deg)	Int. W (deg)	Asym. factor
1	20.58(17)	4.31(3)	29(5)	2.0(3)	122(9)	4.2(11)	0.8(3)
2	26.505(9)	3.3602(11)	425(21)	0.215(8)	123(3)	0.29(2)	1.6(3)
3	35.58(3)	2.521(2)	48(7)	1.24(10)	65(7)	1.4(3)	0.6(2)
4	63.3(4)	1.468(8)	16(4)	4.5(7)	153(11)	9(3)	0.8(4)

Lampiran 3. Perhitungan Adsorbsi Batch

- a. Jumlah Fe teradsorbsi dan efisiensi penghilang pada limbah cair artifisial

Konsentrasi Fe awal (mg/L)	Konsentrasi Fe terhitung (mg/L)	Jumlah Fe teradsorbsi (mg/g)	Efisiensi Penghilang (%)
2,3909	0,4657	0,09626	80,52
2,3909	0,3274	0,103175	86,30
2,3909	0,3128	0,103905	86,91

- b. Jumlah Fe teradsorbsi dan efisiensi penghilang pada limbah cair PDAM Tirta Wijaya

Konsentrasi Fe awal (mg/L)	Konsentrasi Fe terhitung (mg/L)	Jumlah Fe teradsorbsi (mg/g)	Efisiensi Penghilang (%)
0,1573	0,0008	0,0079	100
0,1573	0,0044	0,0076	97,2
0,1573	0,0008	0,0079	100
0,1573	0,0044	0,0076	97,2
0,1573	0,0113	0,0073	92,8
0,1573	0,0001	0,0078	99,9

- c. Jumlah Cu teradsorbsi dan efisiensi penghilang pada limbah cair *Electroplating*

Konsentrasi Cu awal (mg/L)	Konsentrasi Cu terhitung (mg/L)	Jumlah Cu teradsorbsi (mg/g)	Efisiensi Penghilang (%)
12,3202	12,2764	0,00219	0,35
12,3202	12,2895	0,00153	0,25
12,3202	12,2889	0,00156	0,25
12,3202	12,2514	0,00344	0,55
12,3202	12,2770	0,00216	0,35
12,3202	12,2553	0,00324	0,52

- 1) Contoh cara perhitungan logam Fe teradsorbsi tiap gram *fly ash* teraktivasi

Berat *fly ash* : 2 gram

Konsentrasi Fe awal (C_o) : 0,1573 mg/L

Konsentrasi Fe terhitung (C_e) : 0,0008 mg/L

Jumlah volume adsorbat : 100 ml = 0,1 l

Jumlah logam Fe teradsorbsi tiap gram *fly ash* teraktivasi (q)

$$\begin{aligned} &= \frac{V}{m} (C_o - C_e) \\ &= \frac{0,1}{2} (0,1573 - (-0,0008)) \\ &= 0,007905 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) Contoh cara perhitungan efisiensi penghilang adsorbsi logam oleh adsorben

Konsentrasi Fe awal (C_o) : 0,1573 mg/L

Konsentrasi Fe terhitung (C_e) : 0,0008 mg/L

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Penghilang (\%)} &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(0,1573 - 0,0008)}{0,1573} \times 100\% \\ &= 80,52\% \end{aligned}$$

$$\Delta \text{efisiensi penghilang (\%)} = \sqrt{\left| \frac{\delta E}{\delta C_o} \right|^2 |\Delta C_o|^2 + \left| \frac{\delta E}{\delta C_e} \right|^2 |\Delta C_e|^2}$$

Lampiran 4. JCPDS

```
VERSION: 4
COMMENT: quartz (JCPDS 46-1045) EOS from
K0:      38.0000
K0P:     5.40000
SYMMETRY: HEXAGONAL
A:      4.91344
C:      5.40524
ALPHAT:   0.000000
DIHKL:   4.2550    16.    1.00    0.00    0.00
DIHKL:   3.3435   100.    1.00    0.00    1.00
DIHKL:   2.4569     9.    1.00    1.00    0.00
DIHKL:   2.2815     8.    1.00    0.00    2.00
DIHKL:   2.2361     4.    1.00    1.00    1.00
DIHKL:   2.1277     6.    2.00    0.00    0.00
DIHKL:   1.8180    13.    1.00    1.00    2.00
DIHKL:   1.5415     9.    2.00    1.00    1.00
DIHKL:   1.3821     6.    2.00    1.00    2.00
DIHKL:   1.3750     7.    2.00    0.00    3.00
```

Lampiran 5. Surat Ijin Penelitian di PDAM Tirta Wijaya Cabang Kroya



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM

Alamat : Jalan Colombo Nomor 1 Yogyakarta 55281
Telepon 0274-586168 psw 217, 336, 0274-565411 Fax 0274-548203
Laman: fmipa.uny.ac.id E-mail: humas_fmipa@uny.ac.id

Nomor : 19/UN34.13/DT/Pen/2018

25 Januari 2018

Lamp. : 1 Bendel Proposal

Hal : Izin Penelitian

Yth . Yth. Kepala Cabang Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtawijaya Cabang Kroya
Jl. Lettu Suparto, Kroya, Cilacap

Kami sampaikan dengan hormat, bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini:

Nama : Letdi Desisandi Kusuma Wardani
NIM : 14306141009
Program Studi : Fisika - S1
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Fly Ash (Abu Layang) Batubara sebagai Material Adsorben pada Limbah Cair yang Mengandung Logam
Tujuan : Memohon izin mencari data untuk penulisan Tugas Akhir Skripsi (TAS)
Waktu Penelitian : 27 Januari - 27 Maret 2018

Untuk dapat terlaksananya maksud tersebut, kami mohon dengan hormat Bapak/Ibu berkenan memberi izin dan bantuan seperlunya.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya kami sampaikan terima kasih.

Wakil Dekan I Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Slamet Suyanto, M.Ed.
NIP. 19620702 199101 1 001

Tembusan :

1. Sub. Bagian Pendidikan dan Kemahasiswaan ;
2. Mahasiswa yang bersangkutan.

Lampiran 6. Surat Pemberian Ijin Penelitian di PDAM Tirta Wijaya Kroya



PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM TIRTA WIJAYA KABUPATEN CILACAP CABANG KROYA

JL. Lettu Suparto Kroya, Telp. (0282) 492326

Nomor : 004/ II /40.15.01/18 Kepada
Lampiran : Yth. Pimpinan pengurus Fakultas MIPA
Perihal : Pemberian Ijin Universitas Negeri Yogyakarta
Di Tempat

Menanggapi Surat Nomor 19/UN34.13/DT/Pen/2018 Mengenai Permohonan Izin Penelitian
Tugas Akhir :

Nama : Letdi Desiandi Kusuma Wardani
NIM : 14306141009
Program Studi : Fisika – S1
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Fly Ash Batubara sebagai Material Absorben pada Limbah Cair
Yang mengandung Logam.
Waktu Penelitian : 27 Januari – 27 Maret 2018

Dengan ini kami menerima dan memberikan ijin kepada mahasiswa tersebut untuk melakukan pengumpulan data penelitian di Perusahaan kami.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya kami sampaikan terima kasih.

Kroya, 26 Januari 2018

Mengetahui :



Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian



Fly Ash Batubara PLTU Cilacap



Menimbang Fly Ash



NaOH 1 M, 1,5 M dan 3 M



Aquades



Limbah Cair PDAM Tirta Wijaya



Pembuangan Limbah Cair PDAM Tirta Wijaya



Limbah Cair Elektroplating



Pembuatan Limbah Cair Artifisial



Refluks Fly Ash dengan NaOH



Pengadukan Hasil Refluks



Proses Pengendapan Hasil Refluks



Proses Penyaringan



Proses Pemanasan dengan Oven



Fly Ash Hasil Aktivasi Kimia dan Fisika



Proses Adsorbsi Limbah Cair oleh *Fly Ash*



Pengukuran dengan TDSmeter



Pengukuran Konsentrasi Logam dengan AAS



Hot Plate