

STUDI *BIOASSAY FLY ASH* BATUBARA TERHADAP *Daphnia magna*

(Skripsi)

Oleh

**VIKI RAMADAN
1917021015**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

STUDI *BIOASSAY FLY ASH* BATUBARA TERHADAP *Daphnia magna*

Oleh

VIKI RAMADAN

Fly ash merupakan salah satu limbah proses pembakaran batubara. *Fly ash* mempunyai kandungan mineral oksida dan logam berat. Mineral oksida *fly ash* dapat dimanfaatkan untuk bahan adsorben, tambahan pada industri semen dan pembenah lahan (*soil conditioner*). Namun kandungan logam berat pada *fly ash* tidak mampu diurai oleh makhluk hidup dan berpotensi terakumulasi pada organisme. Metode *bioassay* adalah metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu bahan terhadap organisme. Metode ini memaparkan suatu bahan secara langsung terhadap organisme uji. *Daphnia magna* merupakan salah satu organisme yang digunakan sebagai organisme standar dalam uji *bioassay*, memiliki siklus hidup yang relatif singkat, dan sensitivitas terhadap zat pencemar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai LC_{50} 96 jam pemaparan *fly ash* terhadap hewan uji, serta perubahan lingkungan pada kolam percobaan yang diinduksi *fly ash*. Pada penelitian ini dilakukan 3 kali uji pendahuluan dilanjutkan dengan uji sesungguhnya. Konsentrasi yang digunakan pada uji sesungguhnya berupa 15.000, 21.000, 30.000, 45.000, 65.000, 94.000, 137.000, dan 199.000 ppm. Pengujian dilakukan selama 96 jam dengan 4 kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan analisis probit nilai LC_{50} 96 jam berada pada konsentrasi 50.251 ppm. Berdasarkan kriteria toksisitas nilai LC yang didapatkan masuk ke dalam kategori *almost non toxic*. Hasil pengukuran parameter lingkungan berupa nilai suhu didapatkan rata-rata nilai suhu 25,8 – 27,6 °C, rata-rata nilai pH 8,1 – 8,4 (bersifat alkalin), rata-rata nilai salinitas 0,15 – 0,5 ppt.

Kata Kunci: *Bioassay*, *D. magna*, *Fly ash*

ABSTRAK

STUDI *BIOASSAY FLY ASH* BATUBARA TERHADAP *Daphnia magna*

Oleh

VIKI RAMADAN

Fly ash is one of the waste products of coal combustion. Fly ash contains inorganic materials that have elements and heavy metals. Fly ash oxide minerals can be utilized as adsorbents, additives in the cement industry and soil conditioners. However, the heavy metal contained in fly ash is not biodegradable and has the potential to accumulate in organisms. The bioassay method is a method used to determine the effect of a material on organisms. This method exposes a material directly to the test organism. *Daphnia magna* is one of the organisms used as a standard organism in bioassay tests, has a relatively short life cycle, and is sensitive to pollutants. This research aims to determine the 96-hour LC₅₀ value of fly ash exposure to test animals, as well as environmental changes in fly ash-induced experimental ponds. In this research, 3 preliminary tests were carried out followed by the real test. The concentrations used in the real test were 15,000. 21,000. 30,000. 45, 000. 65,000. 94,000. 137,000. and 199,000 ppm. The results showed probit analysis of 96-hour LC₅₀ value at a concentration of 50,251 ppm. Based on the toxicity criteria, the LC value obtained falls into the non-toxic category. The measurement results of environmental parameters obtained an average temperature value of 25.8 – 27.6 °C, an average pH value of 8.1 – 8.4 (alkaline), an average salinity value of 0.15 – 0.5 ppt.

Kata Kunci: *Bioassay, D. magna, Fly ash*

STUDI *BIOASSAY FLY ASH* BATUBARA TERHADAP *Daphnia magna*

Oleh

VIKI RAMADAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Penelitian : **STUDI BIOASSAY FLY ASH BATUBARA
TERHADAP *Daphnia magna***

Nama Mahasiswa : **Viki Ramadan**

NPM : **1917021015**

Jurusan/Program Studi : **Biologi/S1 Biologi**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**


Drs. M. Kanedi, M.Si.
NIP 196101121991031002


Priyambodo, M.Sc.
NIP 19861142015041003

2. **Ketua Jurusan Biologi FMIPA**


Dr. Jani Master, M.Si.
NIP 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

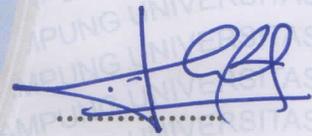
Ketua : Drs. M. Kanedi, M.Si.



Sekretaris : Priyambodo, M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.**



2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M. Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Ujian Skripsi : 08 Agustus 2023

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Viki Ramadan
NPM : 1917021015
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa skripsi yang berjudul:

“STUDI *BIOASSAY FLY ASH* BATUBARA TERHADAP *Daphnia magna*”

Baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah **benar** karya saya sendiri.

Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh hasil skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk keperluan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila dikemudian hari terjadi hal-hal yang mengindikasikan kecurangan, maka saya siap bertanggung jawab.

Bandar Lampung, Agustus 2023

Yang Menyatakan,



Viki Ramadan
NPM. 1917021015

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Taman Asri, Kecamatan Purbolinggo, Kabupaten Lampung Timur pada tanggal 27 November 2000. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Kasyanto dan Ibu Sriyati. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Taman Asri pada tahun 2007. Kemudian pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2

Purbolinggo. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Purbolinggo.

Pada tahun 2019, penulis diterima di jurusan Biologi Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Unila sebagai anggota bidang Ekspedisi periode 2020. Pada tahun 2021 penulis diamanahkan menjadi ketua pelaksana Pekan Konservasi Sumber Daya Alam (PKSDA) XXV periode 2021. Selain itu, selama proses penulisan skripsi penulis juga aktif membantu berbagai kegiatan di Laboratorium Zoologi.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan pada Tahun 2022 dengan judul **“Pengukuran dan Pengelolaan Limbah Cair PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan Pada Bulan Januari Tahun 2022”**.

Pengalaman penulis selama mengikuti pengelolaan batubara kemudian diangkat menjadi topik penelitian judul Penelitian “**Studi Bioassay Fly Ash Batubara Terhadap *Daphnia magna***”. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kabupaten Lampung Timur Kecamatan Labuhan Maringgai Desa Karya Tani pada Bulan Juli – Agustus 2022.

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan ridhonya kupersembahkan karya ini kepada :

Orangtuaku tercinta Bapak Kasyanto dan Ibu Sriyati, teruntuk kasih sayang dan doanya yang selalu mengiringi dalam setiap langkahku.

Kakakku (Bayu Pangestu) dan Adikku (Aleeya Syafika) yang menjadi semangat dan motivasi ku untuk terus melangkah ke depan.

Para guru dan dosen yang telah mendidik dan memberikan banyak pelajaran dengan penuh ketulusan.

Sahabat dan teman-teman seperjuanganku, yang telah memberikan warna dalam perjalanan pendidikanku.

Almamater tercinta, Univesitas Lampung.

MOTTO

“Seharusnya dunia yang rumit ini dapat kita selesaikan dengan cinta dan kasih sayang”

“Setiap tindakan yang kau pilih melahirkan konsekuensi yang harus kau tanggung”

“Bersabarlah, untuk setiap apa yang kau inginkan”

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT., karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “**STUDI BIOASSAY FLY ASH BATUBARA TERHADAP *Daphnia magna***” dilaksanakan pada Maret – April 2023.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis membutuhkan bimbingan dari berbagai pihak agar dalam proses penulisan ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan rasa hormat dan ucapan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmelia Afriani, D.E A., I.P.M., selaku rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dekan FMIPA Unila.
3. Bapak Dr. Jani Master, M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi, FMIPA Unila.
4. Ibu Dr. Kusuma Handayani S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi, Jurusan Biologi, FMIPA Unila.
5. Bapak Drs. M. Kanedi, M.Si., selaku pembimbing utama atas kesediaannya yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan saran dengan kesabaran dan keikhlasan selama proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Priyambodo, M.Sc., selaku pembimbing utama atas kesediaannya yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan saran dengan kesabaran dan keikhlasan selama proses penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak Drs. Tugiyono, Ph.D, selaku dosen pembahas atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik selama proses penyusunan skripsi ini.

8. Ibu Dra. Yulianty, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingannya kepada penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi, FMIPA Unila.
9. Bapak Prof. Dr. Hendri Busman, M. Biomed., dan Bapak Ali Bakery, S.P. selaku Kepala Laboratorium dan Laboran Lab. Zoologi yang telah memberikan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian penulis. .
10. Orangtua tercinta yang telah memberikan banyak doa, dukungan, dan nasehat kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi.
11. Kakak dan Adik yang memberikan dukungan moral kepada penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.
12. Sahabat dan teman-teman seperjuangan penulis.
13. Kakak dan Adik tingkat di Jurusan Biologi Fmipa Unila.
14. Serta semua pihak yang telah memberikan banyak pelajaran, wawasan, pengalaman, serta kritik dan saran dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata kesempurnaan, namun penulis berharap bahwa karya penulis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, baik segi pendidikan, ilmiah maupun dunia ekotoksikologi.

Bandar Lampung, Agustus 2023

Viki Ramadan

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL DALAM	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
UCAPAN TERIMAKASIH	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pikir.....	4
1.5 Hipotesis	4

II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Fly ash</i>	5
2.1.1 Karakteristik Fisik	7
2.1.2 Karakteristik Kimia	8
2.1.3 Unsur dan Oksida Logam.....	8
2.1.4 Pengelompokan <i>Fly ash</i>	10
2.1.5 Regulasi dan Pemanfaatan <i>Fly ash</i>	10
2.2 Uji Hayati	11
2.3 <i>Daphnia magna</i>	12
2.3.1 Klasifikasi	13
2.3.2 Morfologi	13
2.3.3 Reproduksi	14
2.3.4 Kondisi Lingkungan.....	15
III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Rancangan Penelitian	17
3.4 Pelaksanaan Penelitian	17
3.4.1 Kultur Hewan Uji.....	17
3.4.2 Aklimatisasi Hewan Uji	18
3.4.3 Pembuatan Larutan Uji	18
3.4.4 Uji Pendahuluan (<i>Exploratory Test</i>)	19
3.4.5 Uji Sesungguhnya (<i>Definitive Test</i>)	20
3.4.6 Pengukuran Parameter Lingkungan	20
3.5 Analisis Data	20
3.6 Diagram Alir.....	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Pengamatan	22
4.1.1 Uji Pendahuluan (<i>Eksploratory Test</i>).....	22
4.1.2 Uji Sesungguhnya (<i>Definitife Test</i>).....	25
4.1.3 Respon Kematian Hewan Uji.....	27
4.1.4 Parameter Lingkungan	29

4.2 Pembahasan	31
4.2.1 Uji Pendahuluan.....	31
4.2.2 Uji Sesungguhnya (<i>Definitife Test</i>).....	32
4.2.3 Respon Kematian Hewan Uji.....	34
4.2.4 Parameter Lingkungan	35
V. KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran.....	38
Daftar Pustaka.....	39
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Konversi Energi Pada PLTU.....	5
Gambar 2. Daur hidup <i>Daphnia magna</i>	15
Gambar 3. Grafik regresi hubungan konsentrasi larutan uji dengan kematian hewan uji	27
Gambar 4. Hubungan dosis dan respon.....	28
Gambar 5. Nilai suhu pada media uji selama uji sesungguhnya sampai 96 jam ...	29
Gambar 6. Nilai pH pada media selama uji sesungguhnya 24 sampai 96 jam	30
Gambar 7. Nilai salinitas pada media uji selama uji sesungguhnya 24 96 jam	31

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil karakterisasi XRF abu terbang	9
Tabel 2. Uji Pendahuluan 1	23
Tabel 3. Uji Pendahuluan 2	24
Tabel 4. Uji Pendahuluan 3	25
Tabel 5. Jumlah Kematian <i>D. magna</i> dan nilai LC_{50} pada media uji <i>fly ash</i> selama 24, 48, 72 dan 96 jam.....	27
Tabel 6. Kriteria toksisitas berdasarkan nilai <i>Lethal Concentration (LC)</i>	34

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan esensial sebuah negara. Energi ini memenuhi kebutuhan masyarakat sehari-hari sampai kebutuhan tingkat industri. Kebutuhan energi listrik pada tahun 2021 tercatat mencapai 1.123 kWh/kapita (KESDM, 2021). Kebutuhan tersebut dipenuhi oleh pembangkit dengan berbagai sumber bahan bakar. Salah satu sumber bahan bakar yang digunakan adalah batubara. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2022 mencatat 50 % kebutuhan energi nasional dihasilkan dari pembakaran batubara.

Energi listrik dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Proses ini mengkonversi energi panas yang kemudian menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi. Selain energi, pembakaran ini menghasilkan sebuah residu berupa abu terbang atau *fly ash*. Residu yang dihasilkan mencapai 15 % – 17 % untuk setiap ton pembakaran batubara (KLH; Safitri *et al.*, 2009). Tahun 2022 sebanyak 140 juta ton batubara dialokasikan melalui Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam pemenuhan energi listrik nasional, artinya sebanyak 70 juta ton *fly ash* dihasilkan pada tahun tersebut (KESDM, 2022).

Residu *fly ash* mengandung logam berat yang cukup berbahaya (Lokeshappa dan Dikshit, 2012). Logam berat bersifat *non biodegradable* dalam tanah sehingga menyebabkan perpindahan lokasi dari satu tempat ke

tempat lain (Jano's *et al.*, 2010). Akumulasi logam berat ke lingkungan juga dapat membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara absorpsi dan kombinasi (Adhani, 2017).

Selain kandungan logam berat, dalam *fly ash* juga terdapat kandungan mineral-mineral oksida. Mineral penyusun *fly ash* ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan penyerap. Asof *et al.* (2022), mendapatkan konsentrasi mineral tertinggi dalam *fly ash* berupa SiO_2 yaitu sebesar 54,320%, Al_2O_3 sebesar 31,579%, besi (III) oksida (Fe_2O_3) sebesar 3,658%. Ketiga oksida mineral tersebut mempunyai banyak pori dan sisi aktif yang mampu menyerap bahan pencemar. Beberapa penelitian yang memanfaatkan kelimpahan unsur kimia *fly ash* sebagai bahan penyerap diantaranya Fauzan *et al.* (2014), menggunakan *fly ash* sebagai adsorben logam berat Pb yang terlarut dalam air. Kemudian Wardani *et al.* (2021), menggunakan *fly ash* sebagai material adsorben untuk menurunkan kadar kandungan logam Fe pada limbah cair. Gobel *et al.* (2018), menggunakan *fly ash* dalam menetralsir Air Asam Tambang (AAT).

Pemanfaatan *fly ash* untuk berbagai keperluan juga didukung oleh pihak pemerintah. Hal ini terlihat dari pengeluaran limbah *fly ash* dari golongan limbah B3 yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Peraturan tersebut merujuk pada strategi pemerintah dalam pengelolaan guna meningkatkan nilai tambah dari *fly ash* (KLHK, 2021).

Tingginya kuantitas produksi *fly ash* serta potensi pemanfaatan dan kandungan logam berat maka perlu adanya perumusan atau kajian mengenai pengaruh dari penggunaan *fly ash*. Pengaruh tersebut dapat diujikan melalui metode *bioassay*. Uji ini dilakukan dengan percobaan yang menggunakan organisme hidup untuk mengetahui atau mengukur adanya pengaruh dari satu senyawa atau lebih, faktor lingkungan dan kombinasi lainnya serta reaksinya terhadap senyawa kimia (APHA, 1975).

Salah satu organisme yang digunakan untuk uji *bioassay* yaitu *D. magna*. Organisme ini memegang peranan penting di dalam ekosistem perairan. Organisme *D. magna* memiliki siklus hidup yang relatif singkat, mudah dikultur dalam skala laboratorium dan merupakan mata rantai dalam jaring-jaring makanan di perairan (Tyagi *et al.*, 2007). Dodson *et al.* (2000), menyatakan bahwa *D. magna* merupakan hewan yang sensitif terhadap berbagai zat pencemar. Organisme tersebut juga telah digunakan sebagai standar dalam uji toksisitas (USEPA, 1987).

Dalam penelitian ini limbah *fly ash* diujikan dengan metode *bioassay* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap organisme air *D. magna*. Pengaruh yang diamati berupa pengaruh letal (akut) yaitu tingkat kematian dari nilai LC_{50} 96 jam. Selain itu dilakukan pengukuran parameter fisik dan kimia berupa pH, suhu, dan salinitas pada kolam percobaan untuk mengetahui perubahan lingkungan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui tingkat kematian *D. magna* ditunjukkan dengan nilai LC_{50} 96 jam yang diinduski limbah *fly ash*.
2. Mengetahui perubahan lingkungan berupa pH, suhu, dan salinitas pada kolam percobaan yang diinduksi *fly ash*

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini berupa kajian biologi untuk mengetahui pengaruh hayati *fly ash* batubara. Pengetahuan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan dan pemanfaatan *fly ash* batubara.

1.4 Kerangka Pikir

Fly ash merupakan limbah padat PLTU sebagai hasil pembakaran batubara. *Fly ash* mengandung mineral dan logam berat serta kemampuan adsorbansi yang banyak dimanfaatkan. Pemanfaatan *fly ash* perlu diketahui pengaruhnya terhadap lingkungan. Pengaruh lingkungan dapat diwakilkan oleh keberadaan organisme. Pengaruh tersebut dapat dilihat dengan memaparkan *fly ash* terhadap hewan uji.

1.5 Hipotesis

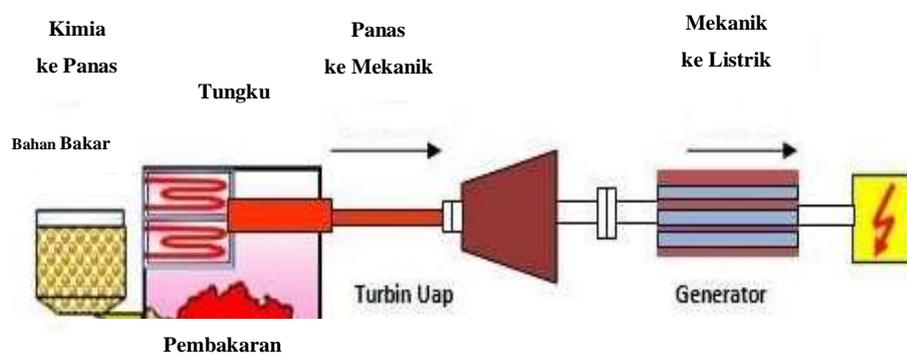
Adapun hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terjadi tingkat kematian pada populasi hewan uji akibat pemaparan *fly ash*.
2. Terjadi perubahan parameter fisika dan kimia perairan berupa nilai pH, suhu, dan salinitas pada kolam percobaan akibat pemaparan *fly ash*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fly ash*

Penggunaan batubara sebagai bahan bakar energi saat ini menjadi pemasok utama pemenuhan energi nasional. Kebutuhan ini dihasilkan dari konversi pembakaran batubara menjadi energi. Konversi energi ini dimulai dari pembakaran batubara dalam unit *boiler* yang menghasilkan energi panas. Energi panas akan menguapkan air dalam pipa *boiler*. Uap bertekanan tinggi hasil konversi panas pada *boiler* dialirkan melalui pipa menuju turbin. Uap bertekanan tinggi menekan turbin untuk berputar. Energi mekanis putaran turbin ini akan memutar poros generator. Putaran poros generator ini yang akan menghasilkan energi listrik (Harris, 2013).



Gambar 1. Konversi energi pada PLTU (Harris, 2013).

Dalam menghasilkan energi, batubara mempunyai kandungan karbon yang yang mampu mengeluarkan energi panas. Semakin tinggi kandungan karbon semakin banyak energi yang dihasilkan begitupun sebaliknya. Kandungan karbon dalam batubara juga digunakan untuk menentukan kualitas batubara.

Berdasarkan kandungan karbon, *American Society of Testing and Material* (ASTM) D.388 membagi batubara menjadi 4 jenis yaitu

- a. *Lignite* merupakan kategori batubara terendah. Batubara jenis ini menghasilkan energi paling rendah di antara kelas batubara yang lain. Kandungan karbon yang dimilikinya antara 60% – 70% dengan kemampuan membangkitkan energi panas kurang dari 8300 *British Thermal Energi*.
- b. *Sub-bituminous* merupakan kategori menengah dari kelas batubara. Jenis ini memiliki kandungan karbon 71% – 77% dengan kemampuan membangkitkan energi panas antara 8.300 – 13.000 *British Thermal Energi*.
- c. *Bituminous* merupakan kelas batubara diatas sub bituminous, mempunyai kandungan karbon antara 77% – 87% dengan kemampuan membangkitkan energi panas diatas 13.000 *British Thermal Energi*.
- d. *Anthracite* merupakan kategori tertinggi dari batubara. Batubara jenis ini mempunyai kadar karbon lebih dari 87%.

Pembakaran batubara dalam *boiler* menghasilkan residu berupa abu batubara. Abu yang dihasilkan merupakan bahan anorganik berbentuk partikel halus yang mengalami perubahan mineral (Munir, 2008). Abu batubara dibagi menjadi 2 jenis yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Perbedaan mendasar pada 2 jenis abu ini terletak pada masanya, *fly ash* merupakan material yang lebih ringan sehingga mampu terbawa bersama gas buang, sedangkan *bottom ash* merupakan material yang lebih berat yang jatuh di bawah *boiler* pembakaran. Komposisi abu

pembakaran batubara ini berjumlah 80% – 90% berupa *fly ash* dan 10% – 20% *bottom ash*.

Terminologi *fly ash* menurut berbagai sumber. Van der Merwe *et al.* (2022), mendefinisikan *fly ash* sebagai limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6414-2002, *fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Sementara menurut ASTM C-618, *fly ash* didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara.

2.1.1 Karakteristik Fisik

Menurut *American Concrete Institute (ACI) Committee 226*, *fly ash* batubara mempunyai karakter fisik berupa butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 μm) dengan *specific gravity* antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman.

Secara umum, karakter fisik *fly ash* dapat dilihat dari ukuran, bentuk, serta warna partikel. Ukuran *fly ash* berada di antara 0,5 – 100 μm . Ukuran ini dipengaruhi oleh jenis batubara serta kinerja *boiler* pembakaran. Ukuran *fly ash* pada batubara jenis *bituminous* kurang dari 75 μm , sedangkan untuk jenis batubara *sub bituminous* memiliki ukuran antara 10 μm – 15 μm (Antoni, 2007).

Berdasarkan bentuk partikel Wang *et al.* (2022), membagi bentuk *fly ash* ke dalam 3 bentuk yaitu oval, bulat dan tidak beraturan. Berdasarkan warnanya, semakin muda warna *fly ash* menunjukkan hasil pembakaran semakin sempurna. Warna yang

lebih muda menunjukkan kandungan kalsium oksida yang tinggi dengan kadar karbon yang rendah, sedangkan warna yang lebih pekat menunjukkan kandungan bahan organik yang tinggi (Marzuki, 2007).

2.1.2 Karakteristik Kimia

Sifat kimia dari *fly ash* dipengaruhi oleh jenis batu bara yang dibakar, teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara *lignit* dan *sub bituminous* menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada *bituminous*. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada *bituminous*.

Kandungan kimia *fly ash* didominasi oleh mineral berupa silikat oksida (SiO_2) dan alumunium oksida (Al_2O_3), besi(III) oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO), serta sedikit magnesium, potassium, sodium, titanium, dan sulfur (Nugraha *et al.*, 2007). Kandungan mineral ini dipengaruhi oleh komposisi kimia batubara, proses pembakaran batubara, serta bahan tambahan yang digunakan selama proses pembakaran (Marzuki, 2007).

2.1.3 Unsur dan Oksida Logam

Teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui unsur dan oksida logam berat adalah dengan menggunakan instrumen kimia berupa teknik *X-Ray Fluorescence* (XRF). Berikut ditampilkan unsur dan kandungan mineral *fly ash* dari penelitian Rajiman *et al.* (2022), menggunakan XRF.

Tabel 1. Hasil karakterisasi XRF abu terbang.

Senyawa	Persentase (%)
Silika (SiO ₂)	62,41
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	14,50
Ferrioksida (Fe ₂ O ₃)	8,24
Magnesium Oksida (MgO)	5,08
Kalsium Oksida (CaO)	4,43
Loss On Ignition(LOI)	2,05
Natrium Oksida (Na ₂ O)	1,67
Kalium Oksida (K ₂ O)	1,14
Titanium Oksida (TiO ₂)	0,47

Sumber: (Rajiman *et al.*, 2022).

Pemanfaatan limbah *fly ash* dikarenakan kandungan oksida utama dari *fly ash* batubara adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi(III) oksida (Fe₂O₃) digunakan sebagai material adsorben (Fauzan *et al.*, 2014). Selain itu, kemampuan *pozzolan* dari *fly ash* yang disebabkan mineral oksida alumina, silika yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida mampu membentuk senyawa mengikat. Kemampuan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam industri semen (Marthinus, 2015). Selain itu, kandungan unsur-unsur makro pada *fly ash* dapat digunakan untuk pembenah lahan (*soil conditioner*) (Asof *et al.*, 2018).

Kandungan logam berat yang perlu mendapatkan perhatian dari abu batubara yaitu As (4,4 – 20 ppm), Cr (26 – 43 ppm), Cu (30,7 – 42,6 ppm), Pb (22,2 – 29,3 ppm), Zn (77,5 – 128 ppm), Ni (10,6 – 24,8 ppm) dan Mn (144 – 396 ppm) (Firman, 2020). Logam berat mencemari lingkungan karena bersifat *non biodegradable* kemudian pada perairan logam berat berpotensi terakumulasi pada biota perairan.

2.1.4 Pengelompokan *Fly ash*

Berdasarkan kandungan mineral berupa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan kadar CaO , ASTM C618 membagi *fly ash* ke dalam dua kelas yaitu *fly ash* kelas F dan kelas C.

Fly Ash kelas F merupakan *fly ash* yang diproduksi dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous*. Jenis *fly ash* ini merupakan jenis abubatu bara yang dihasilkan dari pembakaran dengan kualitas batubara kategori tinggi. *Fly ash* jenis ini mempunyai sifat mengikat (*pozzolanic*). *Fly ash* golongan F memiliki kandungan ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 70% dan untuk kadar CaO kurang dari 10%.

Fly ash kelas C disebut juga *high-calcium fly ash*. *Fly ash* jenis ini mengandung kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{F}_2\text{O}_3$) lebih dari 50% dan CaO lebih dari 10%. Perbedaan utama dari kedua kelas *fly ash* tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi.

Jenis *fly ash* juga bisa ditentukan berdasarkan kandungan F_2O_3 dan CaO . Pengklasifikasian ini dibagi ke dalam kelas *bituminous* dan *lignit*. Apabila konsentrasi F_2O_3 lebih besar dari konsentrasi CaO , maka *fly ash* tersebut digolongkan dari kelas *bituminous*, sedangkan apabila konsentrasi F_2O_3 lebih kecil dari CaO maka *fly ash* itu digolongkan ke dalam kelas *lignit* (Utami, 2018).

2.1.5 Regulasi dan Pemanfaatan *Fly ash*

Saat ini *fly ash* dikategorikan dalam limbah non B3. Hal ini sesuai dengan dikeluarkannya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan

Lingkungan Hidup. Penempatan *fly ash* dalam kategori limbah non B3 dikarenakan pembakaran batubara dikegiatan PLTU dilakukan pada temperatur tinggi, sehingga kandungan karbon di dalam *fly ash* menjadi minimum dan lebih stabil saat disimpan (KLHK, 2021).

Selain itu, pengeluaran peraturan ini dilakukan oleh pemerintah untuk meningkatkan nilai tambah *fly ash* dalam pengelolaan dan pemanfaatannya. Pemanfaatan *fly ash* banyak diteliti karena minerologi dan kandungan senyawa kimia *fly ash*. Kandungan mineral oksida dimanfaatkan sebagai material adsorben serta sifat *pozzolonik* pada mineral dapat digunakan untuk bahan tambahan pada industri semen. Selain itu, kandungan unsur makro pada *fly ash* digunakan untuk pembenah lahan (*soil conditioner*) (Asof *et al.*, 2022).

2.2 Uji Hayati

Metode *bioassay* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui dampak bahan kimia yang diujikan kepada organisme. Metode ini mengukur pengaruh dari satu senyawa atau lebih, faktor lingkungan serta reaksinya organisme terhadap senyawa kimia (APHA, 1975). Pengaruh yang ditimbulkan pada metode *bioassay* berupa pengaruh letal (toksisitas akut) dan pengaruh subletal (toksisitas kronik). Pengaruh letal (toksisitas akut) diukur berupa kematian hewan uji. Tingkat kematian dinyatakan dengan LC_{50} yaitu konsentrasi yang menyebabkan 50% kematian hewan uji. Sedangkan pengaruh subletal ini menyebabkan gangguan biologi pada organisme uji. Gangguan subletal ini dapat dilihat salah satunya dari kemampuan reproduksi dan tingkat pertumbuhan hewan uji.

Uji hayati ini dibagi menjadi beberapa macam. Berdasarkan waktu dan metode penambahan larutan uji, maka uji toksisitas diklasifikasikan sebagai berikut (Rosianna, 2006):

- a. Klasifikasi menurut waktu, terdapat 3 jenis metode yaitu uji hayati jangka pendek (*short term bioassay*), jangka menengah (*intermediate bioassay*) dan uji hayati jangka panjang (*long term bioassay*).
- b. Klasifikasi menurut metode penambahan larutan yang dibagi menjadi 3 jenis metode, yaitu uji hayati statik (*static bioassay*), pergantian larutan (*renewal bioassay*), mengalir (*flow trough bioassay*).
- c. Klasifikasi menurut tujuan penelitian yaitu berdasarkan pemantauan kualitas air limbah, uji bahan atau satu jenis senyawa kimia, penentuan toksisitas serta daya tahan dan pertumbuhan organisme uji.

Uji yang dilakukan pada penelitian ini berupa uji *static short term bioassay* yaitu metode uji *bioassay* statik dengan waktu jangka pendek. Pengaruh terhadap organisme dilihat dari efek letal berupa tingkat kematian yang nanti akan digunakan untuk penentuan nilai LC_{50} pemaparan *fly ash* selama 96 jam.

2.3 *Daphnia magna*

Daphnia magna merupakan zooplankton air tawar. Organisme ini ditemukan di kolam, sungai, atau tempat-tempat dengan kesadahan air sangat bervariasi (EPA, 1991). *D. magna* disebut sebagai kutu air karena pergerakannya yang naik turun dalam air.

D. magna merupakan organisme uji yang paling sering digunakan dalam toksikologi lingkungan perairan (Dhahiyat dan Djuangsih, 1997). *D. magna* memiliki siklus hidup yang relatif singkat, mudah dikultur dalam skala laboratorium dan merupakan mata rantai dalam jaring-jaring makanan di perairan (Tyagi *et al.*, 2007). *D. magna* merupakan hewan

yang sensitif terhadap berbagai zat pencemar (Dodson *et al.*, 2000). Organisme tersebut juga telah digunakan sebagai standar dalam uji toksisitas (USEPA 1987).

2.3.1 Klasifikasi

D. magna termasuk ke dalam filum Arthropoda yang secara umum hidup di perairan tawar. Spesies-spesies dari genus *Daphnia* dapat ditemukan mulai dari daerah tropis hingga arktik dengan berbagai ukuran habitat mulai dari kolam kecil hingga perairan danau luas. Dari lima puluh spesies genus *Daphnia* di seluruh dunia, hanya enam spesies yang secara umum dapat ditemukan di daerah tropis. Salah satunya adalah spesies *D. magna* (Delbaere dan Dhert, 1996).

Menurut Pennak (1989), klasifikasi *D. magna* adalah sebagai berikut :

Filum	: Arthropoda
Subfilum	: Crustacea
Kelas	: Branchiopoda
Ordo	: Cladocera
Famili	: Daphnidae
Genus	: <i>Daphnia</i>
Spesies	: <i>Daphnia magna</i>

2.3.2 Morfologi

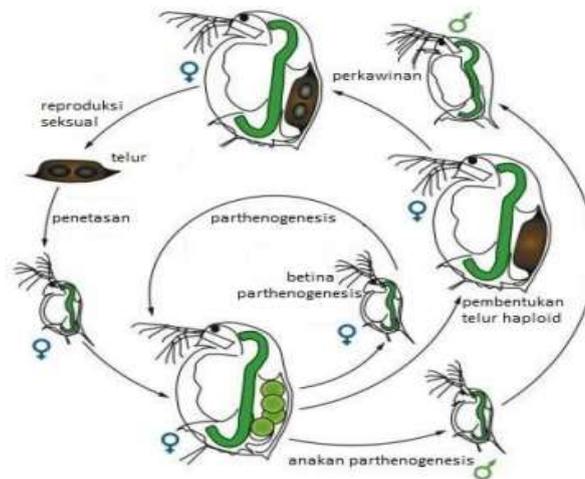
Pembagian segmen tubuh *D. magna* hampir tidak terlihat. Kepala dengan bentuk membungkuk ke arah tubuh bagian bawah melalui lekukan yang jelas. Pada beberapa spesies sebagian besar anggota tubuh *D. magna* tertutup oleh karapas, dengan enam pasang kaki

semu yang berada pada rongga perut. Bagian tubuh yang paling terlihat adalah mata, antenna dan sepasang seta.

D. magna memiliki panjang tubuh antara 0,2 sampai 3,2 mm. Tubuhnya tidak jelas bersegmen, pada sebagian spesies, bagian thoraks dan abdomen ditutupi rangka luar berbentuk bivalve. Struktur bagian kepala yang terlihat menonjol adalah mata majemuk yang besar. Mulut organisme ini terletak di dekat sambungan kepala dan tubuh. Abdomen biasanya mengarah ke depan sehingga bagian dorsal adalah bagian belakang (Pennak, 1953).

2.3.3 Reproduksi

Menurut Waterman (1960), mekanisme reproduksi *D. magna* adalah melalui cara parthenogenesis. Satu atau lebih individu muda dirawat dengan menempel pada tubuh induk. *D. magna* yang baru menetas harus melakukan pergantian kulit (*molting*) beberapa kali sebelum tumbuh hingga dewasa sekitar satu minggu setelah menetas. Siklus hidup *D. magna* yaitu telur, anak, muda dan dewasa. Pertambahan ukuran terjadi sesaat setelah telur menetas di dalam ruang pengeraman. *D. magna* dewasa berukuran 2,5 mm, anak pertama sebesar 0,8 mm dihasilkan secara parthenogenesis (**Gambar 2.**).



Gambar 2. Daur hidup *Daphnia magna* (Ebert,2005).

D. magna. berkembang biak secara aseksual yaitu parthenogenesis, dimana telur yang dihasilkannya ditampung dalam kantung telur yang terletak di punggung. Seekor *D. magna*. betina dapat menghasilkan larva setiap 2 atau 3 hari sekali. Perkembangan larva sampai dewasa sangat dipengaruhi kondisi lingkungan.

2.3.4 Kondisi Lingkungan

D. magna membutuhkan kondisi lingkungan optimal untuk hidup. Kondisi lingkungan optimal ini dapat dilihat dari pH antara 6,5 – 8,5 (Leung, 2009). Kondisi lingkungan hidup *D. magna* juga dapat dilihat dari nilai *Dissolved Oksigen* (DO) yang berperan dalam fungsi hemoglobin *D. magna*. Selain itu suhu juga menjadi salah satu faktor lingkungan yang berperan penting dalam kehidupan *D. magna*. Menurut Yulianti (1985), *D. magna* dapat tumbuh dan berkembang optimal pada suhu 24 – 28 C.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan Maret 2023 yang dilaksanakan di Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass*, akuarium, aerator, timbangan analitik, batang pengaduk, gelas ukur, pipet volume, mikroskop cahaya, *object glass*, pH meter, thermometer, dan refraktometer.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa sampel *fly ash* dari salah satu PLTU di Provinsi Lampung yang diperoleh dari Stasiun Penelitian Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung. Hewan uji *Daphnia magna* diperoleh dari penjual ikan hias dengan nama toko Renz Fish yang beralamat di Jl. H. Agus Salim, Kelapa Tiga Kec. Tanjung Karang Pusat, Kota Bandar Lampung, Lampung.

3.3 Rancangan Penelitian

Uji toksisitas yang digunakan dalam penelitian ini berupa uji hayati statis (*static bioassay*) berbasis eksperimental yang disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) factor tunggal. Faktor yang digunakan yaitu konsentrasi *fly ash*. Rekonstruksi percobaan dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama yang dilakukan yaitu uji pendahuluan. Uji ini merupakan pengujian konsentrasi awal untuk mencari rentang konsentrasi yang akan digunakan pada uji sesungguhnya. Tahap kedua yaitu uji sesungguhnya atau *definitive test*. *Definitive test* merupakan pengujian hewan uji selama 96 jam dengan seri konsentrasi yang dirumuskan menggunakan hasil dari uji pendahuluan. Terdapat 8 konsentrasi limbah *fly ash* yang digunakan pada uji *definitive test*. Pengujian dilakukan dengan 4 kali pengulangan disertai dengan pengukuran parameter lingkungan berupa pH, suhu dan salinitas setiap 24 jam pengujian.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu penyiapan kultur hewan uji, aklimatisasi hewan uji, pembuatan larutan uji *fly ash*, uji pendahuluan, uji sesungguhnya, pengamatan kematian hewan uji, pengukuran parameter fisik dan kimia pada kolam percobaan berupa nilai suhu, pH, dan salinitas, serta proses analisis data.

3.4.1 Kultur Hewan Uji

Induk atau starter *Daphnia magna* didapatkan dari penjual ikan hias di Bandar Lampung. Media kultur hewan uji menggunakan campuran air sumur dengan *green water* berupa air kolam ikan

yang digunakan sebagai penyedia pakan alami untuk hewan uji percobaan *Daphnia magna*.

3.4.2 Aklimatisasi Hewan Uji

Hewan uji yang sudah didapatkan dari penjual ikan hias diaklimatisasi atau disesuaikan dengan kondisi lingkungan lab percobaan. Aklimatisasi hewan uji dilakukan selama satu minggu sampai dirasa hewan uji sudah menghasilkan anakan. Pada proses aklimatisasi hewan uji diberikan aerator untuk membantu penyediaan oksigen mengingat kondisi pengujian berada di dalam ruangan.

Pakan yang digunakan selama proses aklimatisasi ini merupakan campuran satu tetes EM4 dengan pakan pengli 1000. Campuran pakan tersebut ditambahkan air sehingga homogen. Pemberian pakan dilakukan satu sampe 2 tetes satu kali selama sehari. Pemberian pakan dihindari secara berlebihan hal ini dikarenakan kelebihan pakan dapat menjadi media toksik untuk *Daphnia magna*.

3.4.3 Pembuatan Larutan Uji

Larutan uji yang akan digunakan merupakan hasil campuran antara *fly ash* batu bara dengan air sumur. Campuran larutan uji ini memiliki perbandingan 1 kg *fly ash* dengan satu liter air atau di asumsikan 1.000.000 ppm. Campuran tersebut dihomogenkan dengan bahan ujib *fly ash*. Larutan uji yang sudah siap akan digunakan untuk uji pendahuluan

3.4.4 Uji Pendahuluan (*Exploratory Test*)

Uji pendahuluan digunakan untuk menentukan konsentrasi ambang atas (N) dan konsentrasi ambang bawah (n). Konsentrasi ambang atas (N) adalah konsentrasi terendah dari toksikan yang menyebabkan seluruh hewan uji mati pada pemaparan waktu 24 jam, sedangkan konsentrasi ambang bawah (n) adalah konsentrasi tertinggi dari toksikan yang tidak menyebabkan kematian hewan uji pada pemaparan waktu 24 jam.

Hewan uji yang digunakan pada uji pendahuluan berjumlah 10 ekor yang dipaparkan terhadap toksikan di dalam botol sale selama 24 jam.

Menurut Finney (1971), penentuan deret konsentrasi dari konsentrasi tertinggi dan konsentrasi terendah dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log } \frac{N}{n} = k \log \frac{a}{n}$$

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{N}{e}$$

Keterangan

N: konsentrasi tertinggi

n: konsentrasi terendah

k: jumlah konsentrasi yang diuji

Variabel a, b, c, d, dan e merupakan konsentrasi antara konsentrasi terendah dan konsentrasi tertinggi, a adalah konsentrasi terkecil setelah uji pendahuluan dilakukan kemudian ditentukan konsentrasi tertinggi dan terendah untuk kontaminasi. Selang konsentrasi untuk kontaminasi (k=8) ditentukan dengan menggunakan persamaan di atas.

3.4.5 Uji Sesungguhnya (*Definitive Test*)

Uji sesungguhnya merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui nilai LC₅₀ 96 jam. Uji ini berupa *short term bioassay*. Pada uji ini menggunakan 10 individu *D. magna* yang diujikan terhadap 9 konsentrasi larutan uji yang sudah didapatkan pada uji pendahuluan.

Hewan uji dimasukan ke dalam botol sale dengan volume larutan 150 ml. dilakukan perhitungan jumlah kematian hewan uji pada 24, 48, 72, 96 jam kemudian dihitung total hewan uji untuk setiap konsentrasi larutan yang diujikan. Pada percobaan ini dilakukan 4 kali pengulangan dengan satu kontrol. Pada percobaan hewan uji tidak diberi pakan selama perlakuan diberikan.

3.4.6 Pengukuran Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang diukur pada penelitian ini berupa nilai suhu, pH dan salinitas. Parameter suhu diukur menggunakan thermometer, untuk parameter pH diukur menggunakan pH meter digital dan salinitas diukur menggunakan refraktometer.

Pengukuran parameter lingkungan ini dilakukan pada percobaan uji sesungguhnya dengan pengukuran dimulai pada 0, 24, 48, 96 jam perlakuan.

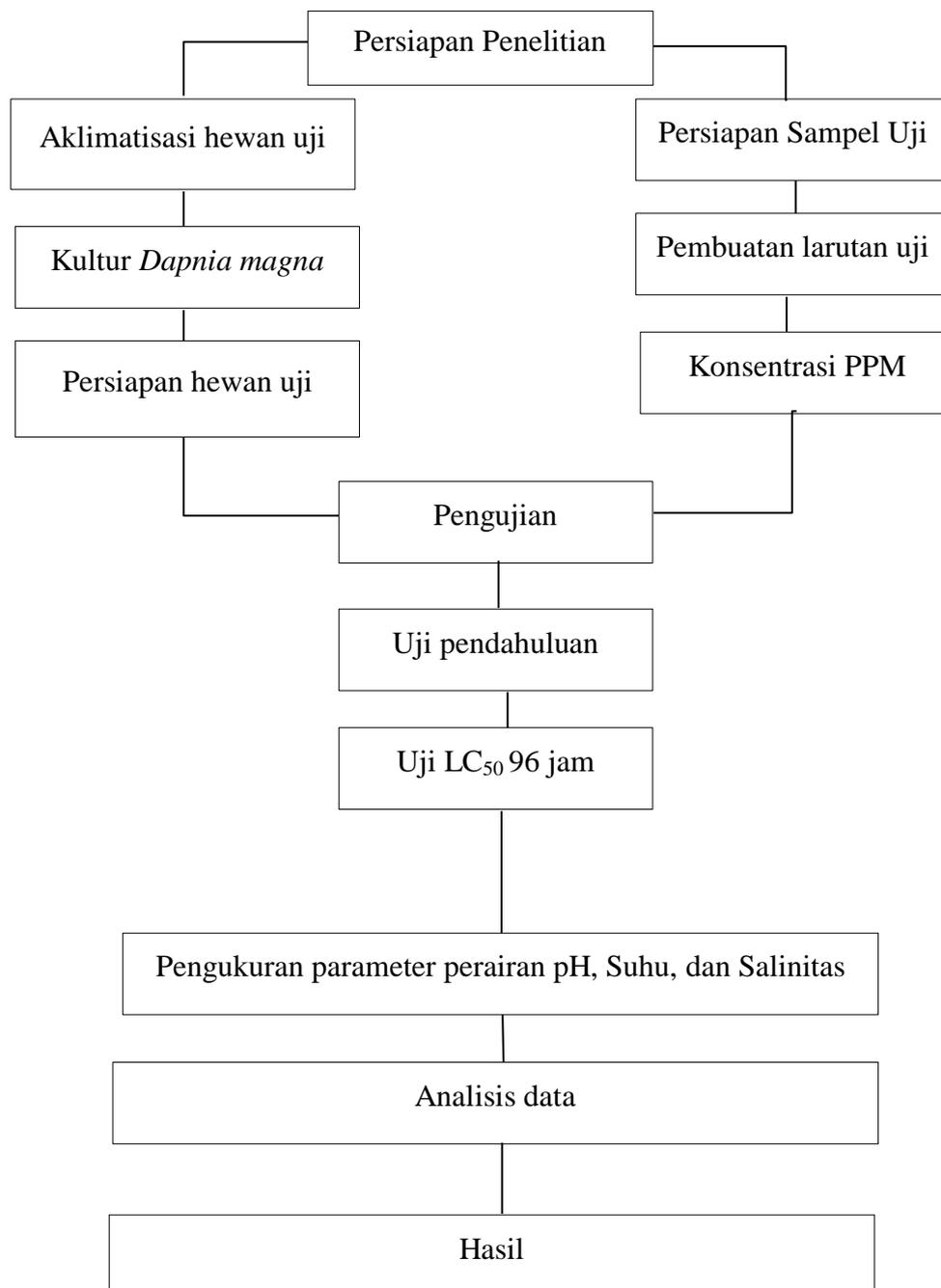
3.5 Analisis Data

Untuk mengetahui nilai LC₅₀ 96 jam pada uji sesungguhnya digunakan analisis data probit menggunakan SPSS. Nilai LC₅₀ dibaca pada *probability 0,50 confidence limit* hasil running dari analisis probit. Data

parameter fisik dan kimia kolam percobaan dihitung rata-rata untuk mencari rentang nilai yang didapatkan.

3.6 Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini sebagai berikut,



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini sebagai berikut;

1. Berdasarkan hasil penelitian, nilai LC₅₀ 96 jam larutan uji *fly ash* batubara memiliki nilai estimasi konsentrasi 50.251 ppm dengan rentang bawah konsentrasi 36.923 ppm dan rentang atas berada pada konsentrasi 61.608 ppm.
2. Berdasarkan hasil penelitian, parameter lingkungan berupa nilai suhu, pH, dan salinitas pada media uji memiliki kisaran nilai antara 25,8 – 27,6 °C, 8,1 – 8,4, dan 0,15 – 0,5 ppt.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diajukan dalam penelitian ini sebagai berikut, Penelitian ini merupakan studi awal untuk mengetahui efek *fly ash* batubara terhadap organisme air khusus nya *Daphnia magna* dan pengaruh *fly ash* terhadap parameter perairan (pH, suhu, dan Salinitas) hasil menunjukkan tingkat toksisitas bersifat *almost non toxic*. Dari hasil tersebut perlu dilakukan riset mengenai pemanfaatan *fly ash* karena tingkat produksinya cukup besar serta daya racun yang dihasilkan cukup rendah. *magna* yang di induksi *fly ash*.

Daftar Pustaka

- Adhani, R., Husnaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.
- Adhiarni, R. 1997. Pengaruh Lanjut Kontaminasi Brine terhadap Pertumbuhan Ikan Mas (*Cyprinus carpio*, Lin) Ukuran 4-6 cm. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor
- American Concrete Institute (ACI).1998. *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*. ACI Committee 226. Amerika.
- American Public Health Association (APHA). 1975. *Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association. Washington DC.
- American Society of Testing and Material (ASTM). 1986. *Spesification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cemen Concrete and Mortar*. American Society of Testing and Material . United States.
- American Society of Testing and Material (ASTM). 1996. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. American Society of Testing and Material. United State.
- American Society of Testing and Material (ASTM). 1998. *Classification of Coal by Rank ASTM D3884-84, 1998 Annual Books of ASTM Standars*. American Society of Testing and Material. United State.
- Amsya, R. M., Zakri, R. S., Fikri, M. R. 2021. Analisis Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan Kapur Tohor Pada Pentralan pH Air Asam Tambang di PT. Mandiangin Bara Prima. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 21 (1), 109-116.
- Anggraini, D. A., Efendi, H., Kristanti, M., 2019. Uji Toksisitas Akut (LC₅₀) Limbah Pengeboran Minyak Bumi Terhadap *Daphnia Magna*. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*. 3 (1), 272-284.
- Antoni. 2007. *Sifat Kimia Dan Sifat Fisika Fly ash*. Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Asof, M., Arita, S., Luthfia, Andalia, W., Naswir, M. 2022. Analisis Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Industri Pupuk. *Jurnal Teknik Kimia*. 28(1), 44-50.
- Bandar Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-6414-2002 Pengertian dan Manfaat Fly Ash*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Bownik, A. 2017. *Daphnia Swimming Behaviour as a Biomarker in Toxicity Assesment; A Review*. *Sciece of The Total Environment*. 601-602
- Chapman, H. 1992. *Water Quality Assesment*. London. UNEP L.td
- Clare, J. 2002. Daphnia: An Aquarist Guide. <http://www.caudata.com>.
- Cristin, F., Elystia, S., Elvi, Y. 2015. Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Tahu terhadap Daphnia magna dengan Metode Renewal Test. *JOM FTeknik*, 2(2), 1-9
- Damayanti, Retno. 2018. Abu Batubara dan Pemanfaatannya: Tinjauan Teknis Karakteristik Secara Kimia dan Toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Barubara*. 14 (3), 213-231
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup*. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Delbaere, D., Dhert, P. 1996. *Cladocerans, Nematodes & Trochopora Larvae dalam manual "On The Production and use of Live Food for Aquaculture."* FOA. New York.
- Dhahiyat, Y. 1999. The Acute Static Test Of Chromium (Cr IV) and Cadmium Cd2+) on *Daphnia magna strauss*. *Jurnal Indonesia*. 2(5), 227-234.
- Dhahiyat, Y., Djuangsih. 1997. *Uji Hayati (Bioassay); LC 50 (Acute Tixicity Tests) Menggunakan Daphnia dan Ikan*. PPSDAL LP UNPAD. Bandung.
- Dodson, S.I., Merritt, C.M., Shurin, J.B., Redman, K.G. 2000. *Daphnia Reproductive Bioassay for Testing Toxicity of Aqueous Sample and Presence of an Endocrine Disrupter*. United State Patent. 1-6.
- Ebert, D. 2005. Introduction Of Daphnia Biology. Diunduh dari <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2042/>
- Effendi, H., Emawan, A. H., Wardiatno, Y., Krisanti, M. 2012. Toksisitas Akut (LC₅₀) Serbuk Bor (*cuttings*) Terhadap *Daphnia sp*. *Jurnal Bumi Lestari*. 12 (2), 321-326.

- Environmental Protection Agency (EPA). 1991. *Methods for Measuring The Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organism: 4th Edition*. Environmental Protection Agency. Unites States.
- Fauzan, A., Aman, Drastinawati. 2014. Pemanfaatan FLY Ash Batubara Sebagai Adsorben Logam Berat Ion Pb⁺ yang Terlarut dalam Air. *Jom FTEKNIK*. 1(2), 1-6.
- Finney, D. J., 1971. *Probit Analys*. Cambridge (GB) : Cambridge Univ. Press.
- Firman, F., Rizhan, M., Sahidi, A.A. 2020. Analisis Kandungan Logam Berat Batubara PLTU Bangko Barat Kab. Muara Enim Sumatera Selatan. *Journal of Sciense and Engineering*. 3(1), 10-16.
- Franson. 1995. *Standard Methods: for The Examination of Water and Wastewater (19 th edition)*. APHA. United States.
- Gobel, A.P., Nursanto, E., Ratminah, W.D. 2018. Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben dalam Menetralsir Air Asam Tambang Pada Settling Pond Penambangan Banko PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*. 2(1), 1-11.
- Harris, Anam, A., Mahmudsyah, S. 2013. Studi Pemanfaatan Limbah Padat dari Perkebunan Kelapa Sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(1), 73-78.
- Haspiadi, Fitriani, Budiarja, Y. 2021. Pengaruh Aktivasi Kimia Terhadap Adsorben Fly Ash Batubara Untuk Penyerap Emisi Gas Buang. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 15(1), 65-74.
- Hutagalung, H. P. 1997. *Logam Berat dalam Lingkungan Laut*. Oseana, IX(1). LIPI. Jakarta.
- Islami, M.M. 2013. Pengaruh Suhu dan Salinitas Terhadap Bivalvia. *Oseana*. 38(2):1-10.
- Janos, P., Varrova, J., Herzegova, L., Pilarova, V. 2010. Effects of Inorganic and Organic Amendments on the Mobility (leachability) of Heavy Metals in Contaminated Soil: a Sequential Extraction Study. *Geoderma*. 335-341.
- Kelabora, D. M. 2010. Pengaruh Suhu Terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Larva Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Bekala Perikana Terumbuk*. 38(1), 71-81
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. Capaian Kinerja 2021 dan Rencana 2022 Sub. Sektor Ketenagalistrikan. <https://www.gastrik.esdm.go.id/>. diakses pada 20 September 2022.

- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. Semester I 2022, Realisasi Batubara Untuk Kelistrikan Capai 72,94 Juta Ton. <https://www.esdm.go.id/>. diakses pada 20 September 2022.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Pengelolaan Limbah Abu Batubara Berdasarkan PP Tetap Lindungi Lingkungan. <https://www.menlhk.go.id/>. diakses pada 20 September 2022
- Khan, M.A., Khan, S., Khan, A., Alam, M. 2017. Soil Contamination With Cadmium, Consequences and Remediation Using Organic Amendments. *Science of the Total Environment*. 1591–1605.
- Kurniawan, A.R., Adenan, D. D., Untung, S. R., Hadjah, N. R., Alimano, M. 2010. Penelitian Pemanfaatan Abu Batubara PLTU Untuk Penimbunan Pada Pra Reklamasi Tambang Batubara. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara ; Bandung
- Kurniawidjaja, Lestari,F., Tejamaya, M., Ramdhan, D. H., 2021. *Konsep Dasar Toksikologi Industri*. Universitas Indonesia Press.
- Leung, Y.F.J. 2009. Reproduction of the zooplankton, *Daphnia carinata* and *Moina australiensis*: Implication as Live Food for Aquaculture and Utilization of Nutrient Loads in Effluent. *Thesis*. University of Adelaide. Australia.
- Lokeshappa B., Dikshit, A. K. 2012. Behaviour of Metals in Coal Fly Ash Ponds. *Procedia APCBEE*. 1, 34-39.
- Marthinus, A.P., Sumajouw, M.D.J., Windah, S. 2015. Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Beton. *Jurnal Sipil Statik*. 3(1), 729-736.
- Marzuki, P.F., Jogaswara, E. 2007. Potensi Semen Alternatif dengan Bahan dasar Padalarang dan Fly Ash Suralaya untuk Konstruksi Rumah Sederhana. *Proceeding of National Seminar on Sustainability dalam Bidang Material, Rekayasa dan Konstruksi Beton*. 127– 129.
- Moore, J. W., Ramamoorthy, S. 1984. *Heavy Metals in Natural Water Applied. Monitoring and Impact Assesment*. Springer-Verlag. New York.
- Munir, M. 2008. Pemanfaatan Abu Batu Bara (Fly Ash) untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan. *Thesis*. Program Pascasarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Nugraha, H., Pasaribu, M., Ismail, S. 2018. Toksisitas Akut Ekstrak *Alburtisia papuana* Becc. pada *Daphnia magna* dan *Danio rerio*. *Biota*. 3(3), 96-103.
- Nugraha, P., Antoni. 2007. *Teknologi Beton: dari Material, Pembuatan, ke beton Kinerja Tinggi*. Penerbit Andi. Bandung.

- Pallar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Bineka Cipta. Jakarta.
- Patty, I. S. 2013. Distribusi Suhu, Salinitas, dan Oksigen Terlarut di Perairan Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Piatax*. 1 (3).
- Pennak, R.W. 1989. *Freshwater Invertebrate of The United States (3rd ed)*. John Wiley and Sons. New York.
- Pennak. 1953. *Feshwater Invertebrates of United States*. The Ronald Press. New York.
- Peraturan Pemerintah No 22. 2021. Penyelenggaraan dan Perlindungan Lingkungan Hidup. Lembaran Negara RI Tahun 2021. Jakarta.
- Petroleum Information Series, 1994. *Guidelines Sheet 3 and 4*. Western Australia Department of Minerals and Energy.
- Rajiman, Amin, M., Sudiby, Suprihatin, Rufaidah, F. 2022. Effect of *Fly Ash* Variation and Heating Temperature on Physical Properties, Chemical Composition, Phase Structure, and Morphology in Making Red Brick. *Jurnal Pertsipitasi*. 19 (2), 373-383
- Rand, G.M. 1995. *Fundamentals of Aquatic Toxicology Effects, Environmental Fate and Risk Assesment*. Taylor and Francis Press. USA.
- Randini. D. N. 2004. Optimasi Suhu, pH, serta Jenis Pakan pada Kultur *Daphnia sp*. *Jurnal Ilmiah Biologi. Ekologi dan Biodiversitas Tropika* 3, 23-28.
- Riani, E. 2004. *Dampak Bahan Pencemar Terhadap Kecacatan dan Kepunahan Organisme Laut*. Fakultas Perikanan dan Kelautan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rossiana, Nia. 2006. Uji Toksisitas Limbah Cair Tahu Sumedang Terhadap Reproduksi *Daphnia carinata* King. *Jurnal Biologi*. 1-21.
- Rossiana, Nia. 2007. Uji Toksisitas Limbah Cair Penyamakan Kulit Terhadap Reproduksi *Daphnia carinata* King. *Pustaka Ilmiah*.
<https://pustaka.unpad.ac.id/archives/10680>
- Safitri, E., Djumari. 2009. Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Pada Produksi Paving Block. *Jurnal Media Teknik Sipil*. 9(1), 36-40.
- Stickney, R. R. 1979. *Principle of Warm Water Aquaculture*. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York. 375 p
- Sukoasih, A. Widiyanto, T., Suparmin. 2017. Hubungan Antara Suhu, pH dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Badan Air

Sungai Rompong dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. Poltekes Kemenkes Semarang.

Swan, J. M., J.M. Neff, and P.C. Young. (eds.) 1994. *Environmental Implications of Offshore Oil and Gasdevelopment in Australia - the Findings of an Independent Scientific Review*. Australian PetroleumExploration Association. Sydney. 157p.

Tyagi, V.K., Chopra A.K., Durgapal N.C., Arvind, K. 2007. Evaluation of *Daphnia magna* as an Indicator of Toxicity and Treatment Efficacy of Municipal Sewage Treatment Plant. *Journal Applied Science Environmental Management*. 11(1), 61–67.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1987. *Procedure for Conducting Daphnia magna Toxicity Bioassay Prepare for The Office of Solid Waste*. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.

Untung, S. R. 2011. Toxicology Test On Coal Ash From Asam-Asam Coal Fired Power Plant, Tanah Laut- South Kalimantan. *Indonesian Mining Journal*. 14(3), 38-32.

Utami, S.W. 2018. Karakteristik Kimiawi Fly Ash Batu Bara dan Potensi Pemanfaatannya sebagai Bahan Pupuk Organik. *Jurnal Agroiitek*. 12(2), 108-112.

Van der Merwe, E.M., Mathebula, C.L., Prinsloo, L.C. 2014. Characterization of the Surface and Physical Properties of South African Coal Fly ash Modified by Sodium Lauryl Sulphate (SLS) For Applications in PVC Composites. *Powder Technology*. 70-78.

Wang, N., Sun, X., Zhao, Q., Yang, Y., Wang, P. 2020. Leachability and Adverse Effect of Coal Fly Ash: a Review. *Journal of Hazardous Materials*. 1-8.

Wardani, A.P., Maulidz, S.D., Takwanto, A., Yulianto, E. 2021. Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Material Adsorben untuk Menurunkan Kadar Kandungan Logam FE pada Limbah Cair di Unit Waste Water Treatment Plant PT PONI. *Jurnal Teknologi Separasi*. 7(1), 51-57.

Waterman, T.H. 1960. *The Physiology of Crustacean. Volume: Metabolism and Growth*. Academic Press. New York

Yulianti P. 1985. *Daphnia sp. sebagai Makanan Benih Ikan Mas*. Balai Pengembangan Perikanan Darat – Direktorat Jenderal Perikanan. Bogor.

Yulianto, Amaloyah, N. 2017. *Toksikologi Lingkungan*. Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia. Jakarta.

Zahidah, W., Gunawan, Subhan, U. 2012. Pertumbuhan Populasi Daphnia sp Yang Diberi Pupuk Limbah Budidaya Keramba Jaring (KJA) Diwaduk Cirata yang Telah di Fermentasi EM4. *Jurnal Akuatika*. 3(1), 84-94.