

**ANALISIS KADAR LOGAM MERKURI (Hg) PADA
TUMBUHAN PAKU (*Pityrogramma calomelanos L*)
SEBAGAI BIOAKUMULATOR DI KAWASAN
PERTAMBANGAN EMAS
DESA PANTON LUWAS**

SKRIPSI

Diajukan Oleh :

**ADE ANDRIANI
NIM. 160704006**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Kimia**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M / 1441 H**

Lembar Pengesahan

**ANALISIS KADAR LOGAM MERKURI (Hg) PADA
TUMBUHAN PAKU (*Pityrogramma calomelanos L*)
SEBAGAI BIOAKUMULATOR DI KAWASAN
PERTAMBANGAN EMAS
DESA PANTON LUWAS**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Mem peroleh Gelas Sarjana dalam Ilmu Kimia**

Oleh

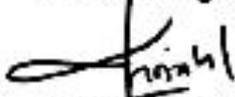
ADE ANDRIANI

NIM. 160704006

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Kimia**

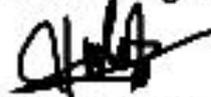
Disetujui Oleh :

Pembimbing I



**Khairun Nisah, M. Si.
NIDN. 2016027902**

Pembimbing II



**Cut Nuzlia, M. Sc.
NIDN. 2014058702**

Lembar Pengesahan

**ANALISIS KADAR LOGAM MERKURI (Hg) PADA TUMBUHAN PAKU
(*Pityrogramma calomelanos L*) SEBAGAI BIOAKUMULATOR DI
KAWASAN PERTAMBANGAN EMAS
DESA PANTON LUWAS**

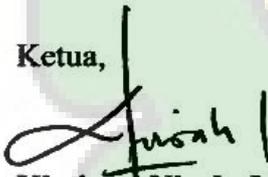
SKRIPSI

**Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Kimia**

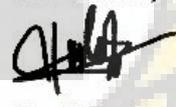
Pada Hari/Tanggal : Selasa, 28 Juli 2020

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi,

Ketua,


Khairun Nisah, M. Si.
NIDN. 2016027902

Sekretaris,


Cut Nuzlia, M. Sc.
NIDN. 2014058702

Penguji I,


Febrina Arfi, M. Si.
NIDN. 2021028601

Penguji II,


Muhammad Ridwan Harahap, M. Si.
NIDN. 2027118603

**Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh**



Dr. Azhar Amsal, M. Pd
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ade Andriani
NIM : 160704006
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai Bioakumulator Di Kawasan Pertambangan Emas Desa Pantan Luwas.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya :

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat mempertanggung jawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 28 Juli 2020

Yang Menyatakan,



Ade Andriani
NIM. 160704006

ABSTRAK

Nama : Ade Adnriani
NIM : 160704006
Program Studi : Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
Judul : Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai Bioakumulator Di Kawasan Pertambangan Emas Desa Pantan Luwas.
Tanggal Sidang : 28 Juli 2020
Tebal Skripsi : 77 lembar
Pembimbing I : Khairun Nisah, M. Si.
Pembimbing II : Cut Nuzlia, M. Sc.
Kata Kunci : Tumbuhan paku (*Phityrogramma calomelanos L*), logam Hg, destruksi basah dan spektrofotometer serapan atom-uap Dingin.

Limbah industri pertambangan merupakan limbah yang berpotensi untuk mencemari lingkungan. Umumnya, limbah pertambangan mengandung logam-logam berat seperti merkuri (Hg), tembaga (Cu), kadmium (Cd), zink (Zn), timbal (Pb), arsen (As), nikel (Ni), kromium (Cr), dan sianida (CN). Logam berat adalah komponen pencemar lingkungan cukup berbahaya seperti logam Hg. Untuk itu, diperlukan suatu solusi dalam menangani masalah pencemaran lingkungan tersebut. Bioakumulator adalah tumbuhan yang dapat mengakumulasi dan menyerap logam berat. Salah satu tanaman yang dapat dijadikan bioakumulator logam berat adalah tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*). Penelitian bertujuan untuk mengetahui tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat berfungsi sebagai tumbuhan bioakumulator logam Hg serta untuk mengetahui kadar logam Hg yang diakumulasikan oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen. Pengambilan sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen dilakukan dengan teknik *Purposive Sampling*. Sampel didestruksi dengan destruksi basah menggunakan larutan asam nitrat (HNO₃) dan asam sulfat (H₂SO₄). Larutan hasil destruksi yang diperoleh dianalisis konsentrasinya menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom-Uap Dingin (SSA-UD) pada λ 253,7 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat digolongkan sebagai tanaman bioakumulator terhadap logam Hg karena dapat mengakumulasi logam Hg tanpa meracuni dirinya sendiri. Penyerapan kadar logam Hg oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) yang tertinggi terdapat pada titik 1 sebanyak 0,2334 mg/Kg dan terendah terdapat pada titik 5 sebanyak 0,0114 mg/Kg. Sedangkan penyerapan kadar logam Hg oleh sedimen yang tertinggi terdapat pada titik 3 sebanyak 1,0793 mg/Kg dan terendah terdapat pada titik 5 sebanyak 0,2095 mg/Kg. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa konsentrasi logam Hg pada titik 1,2,3 dan 4 telah melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan pemerintah No.101 tahun 2014 sebesar 0,02 mg/Kg. Pada titik 5 konsentrasi logam Hg pada sedimen telah melebihi baku mutu yang ditetapkan, sedangkan pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) masih berada dalam baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014.

ABSTRACT

Name : Ade Adnriani
NIM : 160704006
Study Program : Chemistry, Faculty of Science and Teknology
Tittle : Analysis of Mercury Metal Content (Hg) in Fern Plants (*Pityrogramma calomelanos L*) as Bioaccumulator in the Pantan Luwas Village Gold Mining Area.
Strial Date : 28 July 2020
Thesis Thickness : 77 sheet
Advisor I : Khairun Nisa, M. Si.
Advisor II : Cut Nuzlia, M. Sc.
Keywords : Fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*), Hg metal, wet destruction, and Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS)

Mining industry waste is waste that has the potential to pollute the environment. Generally, mining waste contains heavy metals such as merkury (Hg), copper (Cu), cadmium (Cd), zinc (Zn), lead (Pb), arsenic (As), nickel (Ni), chromium (Cr), and cyanide (CN). Heavy metals are quite dangerous environmental pollutants such as Hg. For this reason, a solution is needed in dealing with the problem of environmental pollution. Bioaccumulator is a plant that can accumulate and absorb heavy metals. One of the plants that can be used as a heavy metal bioaccumulator is a fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*). The aim of this research is to find out the fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*) can function as Hg metal bioaccumulator plants and to determine the levels of Hg metals accumulated by fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*) and sediments. Sampling of fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*) and sediments was carried out using the *Purposive Sampling* technique. Samples were destroyed by wet destruction using a solution of nitric acid (HNO₃) and sulfuric acid (H₂SO₄). The digestion solution obtained was analyzed for its concentration using the Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) at λ 253,7 nm. the results showed that the fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*) can be classified as bioaccumulators against Hg metals because they can accumulate Hg metals without poisoning themselves. The highest absorption of Hg metal content by ferns (*Pityrogramma calomelanos L*) is at point 1 of 0,2334 mg/Kg and the lowest is at point 5 of 0,0114 mg/Kg. While that highest absorption of Hg metal content by sediment is at point 3 of 1,0793 and the lowest is at point 5 of 0,2095 mg/Kg. From these results it can be seen that the concentration of Hg metal at points 1,2,3 and 4 has exceeded the quality standard set by Government Regulation No.101 of 2014 amounting to 0,02 mg/Kg. At point 5 the concentration of Hg metal in sediments has exceeded the established quality standard, where as in fern plants (*Pityrogramma calomelanos L*) it is still in the quality standard determined by the Government Regulation No.101 of 2014.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah menganugerahkan Al-Qur'an sebagai petunjuk bagi seluruh manusia dan rahmat bagi segenap alam, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam tidak lupa pula penulis sampaikan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW beserta keluarganya, para sahabatnya dan seluruh umatnya yang selalu istiqamah hingga akhir zaman.

Adapun judul skripsi ini adalah **“Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai Bioakumulator di Kawasan Pertambangan Emas Desa Pantan Luwas”**. Penulis menyusun skripsi ini bermaksud untuk melengkapi dan memenuhi kewajiban sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini berkat do'a, bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis pada kesempatan ini ingin mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan untaian do'anya selama ini.
2. Bapak Dr. Azhar, S. Pd., M. Pd., selaku dosen pembimbing akademik dan Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Khairun Nisah, M. Si., selaku ketua Program Studi Kimia sekaligus pembimbing I yang telah membimbing dan menasehati dalam segala masalah akademik selama penulis menempuh pendidikan hingga mengarahkan dan membimbing penulis hingga penyusunan proposal skripsi selesai.
4. Ibu Cut Nuzlia, S. Pd., M. Sc., selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberi bimbingan, bantuan dan arahan kepada penulis sehingga proposal skripsi ini dapat selesai dengan baik.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen, Staf dan Asisten Laboratorium Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah mengajar dan membekali ilmu kepada penulis sejak semester awal hingga semester akhir.

6. Semua teman-teman seperjuangan angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran terhadap penulisannya, sehingga dapat disempurnakan nantinya. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan. Akhir kata penulis ingin mengucapkan terimakasih dan semoga Allah SWT memberikan amal jariyah atas semua kebaikan serta dukungan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Banda Aceh, 28 Juli 2020
Penulis,

Ade Andriani



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah	5
BAB II LANDASAN TEORITIS	7
2.1. Pencemaran Lingkungan	7
2.2. Pertambangan Emas	8
2.3. Logam Berat	10
2.3.1. Merkuri (Hg)	11
2.4. Sedimentasi	12
2.5. Bioakumulator	13
2.5.1. Tumbuhan Paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>)	14
2.6. Limbah Industri	16
2.7. Metode Analisis Logam Hg	17
2.8. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	17
2.8.1. Spektroskopi Serapan Atom Uap Dingin (SSA-UD)	19
2.9. Penelitian Relevan	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1. Tempat dan Waktu	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.2.1. Alat	22
3.2.2. Bahan	22
3.3. Cara Kerja	22
3.3.1. Penentuan titik pengambilan sampel	22
3.3.2. Preparasi sampel	24
3.3.3. Analisis sampel tumbuhan paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>)	24
3.3.4. Analisis sampel sedimen	24
3.3.5. Pembuatan larutan standar logam Hg	25
3.3.6. Pembuatan deret standar logam Hg	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Hasil Penelitian	26
4.1.1. Hasil pengukuran larutan standar logam Hg	26
4.1.2. Analisis kadar logam Hg pada tumbuhan paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>) dan sedimen	26
4.2. Pembahasan	27
4.2.1. Preparasi sampel	27
4.2.2. Kurva kalibrasi larutan standar logam Hg	30
4.2.3. Analisis kadar logam Hg pada tumbuhan paku (<i>Pityrogramma camelanos L</i>) dan Sedimen	33
BAB V PENUTUP	38
5.1. Kesimpulan	38
5.2. Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hulu Sungai Sikulat di Desa Panton Luas, Kecamatan Sawang, Kabupaten Aceh Selatan	9
Gambar 2.2	Lokasi Pengambilan Titik Sampling Di Kawasan Pertambangan Emas Desa Panton Luwas	10
Gambar 2.3	Tumbuhan Paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>).....	15
Gambar 2.4	Mekanisme pembentukansenyawa kompleks oleh senyawa sistein dengan logam Hg	16
Gambar 2.5	Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom	18
Gambar 2.6	Spektrofotometer Serapan Atom SHIMADZUU AA-7000	19
Gambar 3.1	Peta Lokasi Dan Titik Pengambilan Sampel Di Kawasan Pertambangan Emas Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan	23
Gambar 4.1	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Logam Hg	32
Gambar 4.2	Konsentrasi Logam Hg pada Tumbuhan paku (<i>Pityrogramma caelanos L</i>) dan Sedimen	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Lokasi pengambilan sampel tumbuhan paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>) dan sedimen di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas	23
Tabel 4.1	Data Hasil Pengukuran Larutan Standar Hg	26
Tabel 4.2	Data Hasil Pengukuran Logam Hg yang Terakumulasi dalam Tumbuhan Paku (<i>pityrogramma calomelanos L</i>) dan Sedimen....	26



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema Kerja	47
Lampiran 2	Pembuatan Larutan	52
Lampiran 3	Pembuatan Kurva Kalibrasi Logam Hg	55
Lampiran 4	Foto Dokumentasi Penelitian	57
Lampiran 5	Identifikasi Tumbuhan Paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>) ..	60
Lampiran 6	Data Pengukuran Konsentrasi Logam Hg pada Tumbuhan Paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>)	61
Lampiran 7	Data Pengukuran Konsentrasi Logam Hg pada Sedimen	62
Lampiran 8	SNI 6989.78 – 2011	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah. Salah satu sumber daya alam yang dimiliki Indonesia yaitu sumber daya emas yang tersebar di seluruh pelosok Indonesia. Berdasarkan data statistik pertambangan, tercatat beberapa provinsi yang aktif dalam memproduksi emas seperti Jawa Barat, Banten, Nusa Tenggara Barat, Aceh, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah dan Papua (Badan Pusat Statistik, 2016). Sehingga banyak masyarakat yang bekerja sebagai penambang emas secara legal maupun ilegal (Syafuddin, 2019). Hal ini memberikan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar penambangan seperti tercemarnya air sungai, tanah, dan tumbuhan. Namun, kegiatan penambangan emas juga memberikan dampak positif terhadap keuangan masyarakat di Provinsi Aceh (Agus, Sukandarrumidi, dan Wintolo, 2005).

Lingkungan yang tercemar oleh limbah pertambangan biasanya disebabkan oleh kandungan logam-logam berat dalam limbah pertambangan. Limbah pertambangan emas umumnya mengandung logam berat seperti tembaga (Cu), kadmium (Cd), zink (Zn), timbal (Pb), arsen (As), nikel (Ni), kromium (Cr), merkuri (Hg), dan sianida (CN) (Gani, Abidjulu, dan Wuntu, 2017).

Pencemaran lingkungan oleh logam Hg merupakan salah satu pencemaran yang sering terjadi di lingkungan pertambangan emas. Pencemaran logam Hg biasanya disebabkan oleh proses amalgamasi atau disebut juga proses ekstraksi emas, karena proses amalgamasi biasanya menggunakan Hg dalam pencampuran bijih emas. Merkuri merupakan nama dagang dari logam Hg atau raksa. Logam Hg biasanya berbentuk cairan yang dapat menguap pada suhu kamar dan tidak berbau (Syafuddin, 2019). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101 (2014), menetapkan standar mutu zat pencemar merkuri sebesar 0,02 mg/Kg atau 20 ppb.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam Hg dari pertambangan emas dapat berdampak terhadap kualitas air dan tanah (Agus dkk, 2005). Pencemaran air dan tanah karena logam Hg dapat merusak dan meracuni tumbuhan serta hewan di daerah tersebut (Simange, Simbolon, dan Jusadi, 2011).

Pencemaran ini dapat berakibat buruk terhadap kesehatan apabila tumbuhan dan hewan akumulator pencemar dikonsumsi dan air tersebut digunakan dalam aktivitas masyarakat. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh logam Hg terhadap kesehatan diantaranya adalah merusak saraf, jaringan dalam tubuh, keguguran, mutasi genetik, hingga kematian (Puspitasari, Prasetya, dan Rahayuningsih, 2019).

Salah satu daerah di Provinsi Aceh yang merasakan dampak dari pertambangan emas secara ilegal adalah daerah Kabupaten Aceh Selatan. Dampak yang dirasakan seperti tercemarnya sumber mata air, kerusakan ekosistem tanah, penebangan pohon secara liar, dan tercemarnya biota air yang disebabkan oleh proses amalgamasi (Asiah, Alfian, Anwar, Siregar, dan Bangun, 2012).

Salah satu cara untuk mengetahui adanya pencemaran logam Hg di lingkungan sekitar pertambangan adalah dengan melakukan analisis terhadap logam Hg yang terakumulasi pada sedimen (Priyanto, Dwiyitno, dan Ariyani, 2008) dan organisme atau tumbuhan di lingkungan tersebut (Suprihatin, Manurung, & Mayangsari, 2014). Pencemaran logam Hg pada sedimen biasanya disebabkan oleh limbah yang dialirkan ke sungai, parit atau pembuangan limbah *tailing* ke tanah di sekitar pertambangan, sehingga logam Hg akan terakumulasi serta mengendap dalam tanah dan sedimen di perairan. Hal ini dibuktikan oleh Mirdat, Patadungan, dan Isrun (2013), tentang kandungan logam Hg yang terakumulasi kedalam tanah di kawasan pertambangan emas Kelurahan Poboya, Kota Palu, menunjukkan bahwa sampel tanah mengandung logam Hg dengan konsentrasi yang sangat tinggi yaitu 0,3-0,5 ppm dari standar mutu yang ditentukan adalah 0,1-0,3 ppm.

Berdasarkan penelitian Emelda, Supriatno, dan Ali (2017) tentang logam Hg yang terakumulasi pada beberapa organ tubuh ikan di Sungai Sikulat, Kecamatan Sawang, Kabupaten Aceh Selatan seperti bagian kepala mengandung logam Hg sebanyak 0,679 ppm dan bagian badan ikan sebanyak 1,541 ppm. Hal ini dapat membahayakan kesehatan masyarakat apabila ikan yang telah terakumulasi logam berat merkuri dikonsumsi secara terus menerus oleh masyarakat setempat.

Sebagian organisme dan tumbuhan memiliki daya tahan yang relatif baik terhadap logam Hg. Tumbuhan dengan daya tahan yang baik terhadap logam Hg

dapat dijadikan sebagai akumulator dalam mengakumulasi logam Hg untuk mengatasi pencemaran lingkungan (Irsyad, Sikanna dan Musafira, 2014).

Bioakumulator adalah tumbuhan yang memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat tanpa mengganggu morfologi tumbuhan tersebut. Tumbuhan bioakumulator memiliki karakteristik seperti tahan terhadap pencemaran yang bersifat toksik seperti logam berat, sehingga dapat mengakumulasi dan mentranslokasikan logam berat ke seluruh bagian tumbuhan (Rahayu, Faradilla, Verawati, dan Triana, 2014). Akumulasi logam berat oleh tumbuhan akan berdampak positif terhadap lingkungan yang tercemar logam berat karena tumbuhan tersebut dapat mengurangi kadar logam dalam lingkungan secara alami (Panjaitan, 2009) Tumbuhan bioakumulator yang sering dijumpai diantaranya adalah bakau (*Rhizophora mucronata*) (Triandy, Liong, dan Hala, 2016), paku (*Pteris vittata*) (Irfandi, 2013), eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (Rahayu dkk, 2014), nipah (*Nypa fruticans*) (Nafie, Liong, dan Arifin, 2019), *Neptunia oleracea* (Septiani, Rusmiyanto, dan Wardoyo, 2017), lamun (*Enhalus acoroides*) (Putra, Santoso, dan Riniatsih, 2019) dan mangrove (*Rhizophora apiculata*) (Suprihatin dkk, 2014).

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) adalah salah satu tumbuhan bioakumulator yang dapat mengakumulasi zat pencemar lingkungan seperti logam Hg (Akbar, 2017). Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat dibedakan atas organ vegetatif dan generatif. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki senyawa kelat (protein) yang berfungsi untuk mengikat logam berat (Irfandi, 2013). Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat mereduksi dan mentranslokasikan logam ke bagian lainnya, karena tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki enzim reduktase pada membran akarnya (Mahmud, Lihawa, Isa, dan Patuti, 2013).

Berdasarkan penelitian Kosegeran, Rondonuwu, Simbala, dan Rumondor (2015) tentang kandungan merkuri pada tumbuhan paku (*Diplazium accedens blume*) di daerah pertambang emas Tatelu Talawaan, Kabupaten Minahasa Utara menggunakan metode *direct mercury analyzer*, menunjukkan bahwa sampel tumbuhan paku tidak mengandung merkuri sedangkan sampel tanah mengandung merkuri sebanyak 0,06 ppm.

Menurut penelitian Irfandi (2016), tentang penyerapan tumbuhan paku (*Pteris vittata*) terhadap limbah logam Hg secara laboratorium dengan metode fitoremediasi membuktikan bahwa tumbuhan paku (*Pteris vittata*) dapat mengakumulasi logam berat merkuri (Hg) berturut-turut di hari ke 3, 6, 9 dan 12 yaitu 484,8 mg/Kg, 635 mg/Kg, 1579 mg/Kg dan 4703 mg/Kg. Sedangkan penelitian Akbar (2017), tentang penyerapan logam Hg oleh tumbuhan pakis (*Pteris vittata*) secara laboratorium dengan penambahan karbon aktif menggunakan metode fitoremediasi membuktikan bahwa tumbuhan pakis (*Pteris vittata*) dapat mengakumulasi logam berat merkuri (Hg) berturut-turut di hari ke 3, 6, 9 dan 12 yaitu 321,2 mg/Kg, 751,6 mg/Kg, 1206 mg/Kg dan 3488 mg/Kg. Penyerapan unsur hara oleh tumbuhan tidak selamanya dibutuhkan oleh tanaman tersebut dalam proses metabolismenya. Semakin lama tumbuhan tersebut hidup maka akan semakin banyak unsur hara atau ion logam yang terserap.

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis kadar atau jumlah suatu senyawa dalam suatu sampel. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan metode yang menggunakan analisa kuantitatif. Metode ini biasanya digunakan untuk mengukur kadar logam yang ada dalam suatu sampel (Akbar, 2017).

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan penelitian tentang penyerapan logam berat merkuri (Hg) oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator dan sedimen di sekitar perairan pertambangan emas di Desa Pantan Luwas dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas dapat menjadi bioakumulator logam Hg ?

2. Berapakah kadar logam Hg yang diakumulasi oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas ?
3. Berapa kadar logam Hg dalam sedimen di perairan pertambangan emas Desa Pantan Luwas ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator logam Hg di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas.
2. Untuk mengetahui kadar logam Hg yang diakumulasi oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas.
3. Untuk mengetahui kadar logam Hg dalam sedimen di perairan pertambangan emas Desa Pantan Luwas.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator logam Hg di sekitar pertambangan emas Desa Pantan Luwas.
2. Dapat mengetahui konsentrasi logam Hg yang diakumulasi oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator di sekitar pertambangan emas Desa Pantan Luwas.
3. Sebagai rujukan untuk pengembangan ilmu mengenai kemampuan tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator logam Hg.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada :

1. Analisis zat pencemar hanya dilakukan terhadap logam merkuri (Hg).

2. Pengambilan tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen dilakukan pada lima titik di kawasan sekitar pertambangan emas Desa Panton Luwas.
3. Analisis logam Hg hanya dilakukan menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000.
4. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) yang diambil sebagai sampel memiliki ciri-ciri morfologi seperti tumbuhan tumbuh subur, rimbun daunnya, batang keras dan sehat.



BAB II

LANDASAN TEORITIS

2.1 Pencemaran Lingkungan

Lingkungan adalah suatu tempat hidup dan tempat melakukan semua aktivitas makhluk hidup. Lingkungan memiliki kemampuan alami untuk membersihkan atau menetralkan keadaannya dalam standar batas daya dukung lingkungan tersebut. Pencemaran adalah suatu kondisi yang dapat mengurangi nilai dan fungsi lingkungan yang disebabkan individu lainnya. Pencemaran lingkungan identik dengan perubahan lingkungan yang merugikan makhluk hidup seperti perubahan kualitas air, tanah, udara, flora, fauna, dan mikroorganisme. Penyebab terbesar pencemaran lingkungan yaitu disebabkan oleh aktivitas manusia (Sumampouw dan Risjani, 2018).

Salah satu aktivitas manusia yang berdampak buruk terhadap lingkungan adalah industri pertambangan seperti pertambangan emas, timah, minyak bumi, gas bumi, tembaga, batubara, besi, perak dan nikel. Hal ini disebabkan oleh keinginan masyarakat untuk meningkatkan kesejahteraan hidup. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh industri pertambangan antara lain seperti tercemarnya sumber air, udara, tanah, rusaknya ekosistem hutan, hilangnya habitat flora dan fauna di daerah tersebut (Badan Pusat Statistik, 2016).

Salah satu pertambangan yang sering mencemari lingkungan merupakan pertambangan emas. Pencemaran yang disebabkan diantaranya adalah rusaknya ekosistem tanah, air, udara dan sebagainya. Pencemaran air dan tanah biasanya disebabkan oleh penggunaan bahan kimia pada proses ekstraksi emas ataupun pembuangan limbah padat yang tidak mudah terurai oleh sistem lingkungan secara alami. Penambangan emas biasanya menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah inilah yang dapat mencemarkan lingkungan sekitar karena mengandung zat-zat yang berbahaya (Larasati, Setyono, dan Sambowo, 2012). Berdasarkan standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah untuk konsentrasi logam Hg sebagai zat pencemar lingkungan dengan batas maksimum sebanyak 0,02 mg/Kg atau setara dengan 20 ppb (Peraturan Pemerintah No. 101, 2014).

2.2 Pertambangan Emas

Pertambangan merupakan sebagian atau seluruh tahapan suatu industri dalam mengambil dan memanfaatkan bahan mineral yang diperoleh melalui proses penggalian dan pemisahan dari bahan atau material pengotor yang tidak diperlukan. Mineral merupakan senyawa anorganik yang berwujud bijih atau batuan dan banyak terdapat di alam. Sebelum dimanfaatkan, mineral atau senyawa anorganik dari alam harus melalui tahap pengolahan dan pemurnian untuk meningkatkan mutu mineral tersebut. Salah satu mineral yang memiliki nilai jual dengan kualitas tinggi adalah emas. Emas merupakan suatu senyawa anorganik yang dihasilkan dengan melalui tahap penggalian, pengolahan dan pemurnian (Undang Undang Republik Indonesia, No. 4, 2009).

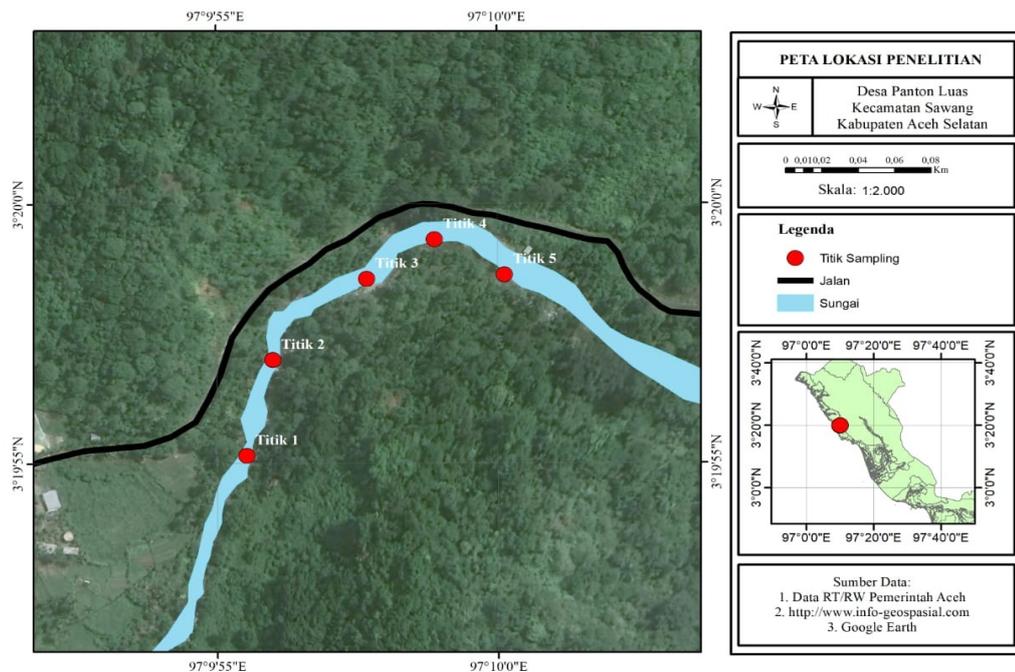
Pertambangan emas merupakan suatu industri yang mengelola dan melakukan pemurnian emas yang diperoleh dari alam. Adanya pertambangan di suatu daerah selalu akan berdampak terhadap lingkungan sekitar. Dampak positif yang ditimbulkan oleh industri pertambangan emas yaitu meningkatnya peluang pekerjaan untuk masyarakat sekitar. Sehingga tingkat kesejahteraan hidup masyarakat akan meningkat dalam bidang ekonomi. Namun, industri pertambangan emas juga menimbulkan dampak negatif seperti pencemaran udara, air, tanah, tumbuhan, rusaknya ekosistem karena penebangan dan hilangnya habitat alami hewan di daerah tersebut (Aziz, 2014).

Aktivitas pertambangan emas dapat terjadi secara legal dan ilegal. Aktivitas penambangan secara legal biasanya dilakukan oleh perusahaan-perusahaan swasta yang bergerak di bidang industri pertambangan. Aktivitas penambangan secara ilegal dilakukan oleh masyarakat secara tradisional. Aktivitas pertambangan secara legal maupun ilegal tetap berdampak langsung terhadap lingkungan sekitar seperti tercemarnya sumber air, tanah, tumbuhan dan hewan-hewan yang ada di daerah tersebut (Turrahmi, 2019). Proses ekstraksi bijih emas yang dilakukan oleh masyarakat secara tradisional biasanya menggunakan metode amalgamasi (Sumarjono, Aryanto, Purwiyono dan Subandrio, 2020) dan *agitated tank leached* (Adinata, Vie dan Kusdarini, 2015). Metode amalgamasi adalah proses ekstraksi bijih emas menggunakan merkuri sebagai pengikat unsur emas (Sumarjono dkk, 2020). Metode *agitated tank leached* merupakan proses ekstraksi

bijih emas menggunakan sianida sebagai pengikat unsur emas (Adinata dkk, 2015).



Gambar 2.1 Hulu Sungai Sikulat di Desa Pantan Luas, Kecamatan Sawang, Kabupaten Aceh Selatan.



Gambar 2.2 Lokasi pengambilan titik sampling di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas.

2.3 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur logam dengan nomor atom besar dari 20 dan mempunyai berat molekul yang relatif tinggi. Logam berat dengan konsentrasi rendah dapat berbahaya terhadap makhluk hidup karena bersifat toksik. Logam berat adalah istilah yang digunakan untuk unsur-unsur transisi dengan nomor atom yang besar dari 20 seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), arsen (As), kromium (Cr), talium (Tl), dan timbal (Pb) (Handayanto, Nuraini, Muddarisna, Syam, dan Fiqri, 2017).

Menurut Alen dkk (2015) dalam Saiful (2017), efek logam berat di perairan secara langsung maupun tidak langsung tetap berbahaya terhadap makhluk hidup. Dampak secara langsung dapat dirasakan terhadap kesehatan makhluk hidup ataupun dalam suatu ekosistem. Sedangkan dampak secara tidak langsung dapat dirasakan dengan timbulnya pencemaran udara, air dan tanah.

Berdasarkan perannya, logam berat terbagi dua yaitu logam berat esensial dan non-esensial. Logam berat esensial adalah logam yang berperan dalam fungsi fisiologis dan biokimia. Logam berat esensial dibutuhkan oleh organisme namun dalam konsentrasi sedikit. Sedangkan logam berat non-esensial merupakan logam

yang tidak memiliki peran pada fungsi fisiologis dan proses biokimia (Handayanto dkk, 2017).

2.3.1. Merkuri (Hg)

Merkuri adalah perak cair dengan nama lain *hydrargyrum* (Hg) (Handayanto dkk, 2017). Merkuri (Hg) merupakan logam dengan titik leleh 507,32 °C, titik didih 356,90 °C, titik beku 38,87 °C dan massa molekul 200,6 gram/mol (Putranto, 2011). Logam Hg biasanya berbentuk cairan yang dapat menguap pada suhu kamar dan tidak berbau. Logam Hg adalah donor elektron yang baik dan konduktor panas atau listrik yang baik (Buwono, Satworo, Faizin, dan Mashudi, 2020).

Di alam merkuri dapat ditemukan dalam bentuk campuran yaitu cinnabar atau merkuri II sulfida (HgS). Unsur logam Hg akan terakumulasi dalam tanah, air, sedimen maupun biota, namun merkuri tidak akan terakumulasi dengan udara. Logam Hg dapat terakumulasi secara baik melalui proses biokumulasi ataupun secara biomagnifikasi. Unsur logam Hg sukar membentuk ikatan ion akan tetapi relatif membentuk ikatan kovalen. Logam Hg dapat diklasifikasikan menjadi logam reaktif dan non-reaktif. Merkuri bersifat reaktif seperti Hg^{3+} , HgX_n , HgO , dan Hg^{2+} . Sedangkan merkuri yang bersifat non-reaktif seperti $(\text{CH}_3)\text{Hg}^+$, CH_3HgCl , CH_3HgOH dan logam Hg yang terikat pada sulfur seperti HgS (Hutagalung, 1984)

Logam Hg merupakan logam yang bersifat toksik dan berbahaya terhadap kesehatan serta dapat menyebabkan kematian. Logam Hg yang sering dijumpai pada air limbah industri antara lain adalah metil merkuri (CH_3Hg^+) atau dimetil merkuri ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$). Senyawa merkuri membutuhkan siklus yang lama dalam makhluk hidup untuk terurai. Dalam siklus rantai makanan, senyawa merkuri terus mengalami perpindahan dari satu organisme ke organisme lainnya. Sehingga pada organisme yang berada pada rantai makanan yang paling rendah memiliki kadar merkuri (Hg) yang lebih rendah dari pada organisme di atasnya (Effendi, 2003).

Dampak negatif logam Hg terhadap kesehatan diantaranya dapat merusak jaringan otak, saraf, ginjal, kulit sehingga dapat menimbulkan hipertensi, jantung berdebar, pingsan, diare, muntah, otot melemah, pendarahan di sistem pencernaan,

insomnia, kanker, tumor dan dapat mengurangi daya ingat seseorang (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. No. 57, 2016). Sedangkan dampak negatif logam Hg terhadap lingkungan diantaranya adalah tercemarnya sumber air, tanah dan dapat meracuni flora dan fauna di lingkungan tersebut (Putranto, 2011). Namun, logam Hg juga memiliki dampak positif terhadap bidang perindustrian, pertanian, kedokteran, pertambangan dan ilmu pendidikan seperti kimia, biologi dan fisika (Lestaris, 2010).

2.4. Sedimentasi

Sedimentasi adalah suatu material yang akan di translokasikan oleh angin, erosi air, gelombang laut atau gletsyer sehingga terjadinya proses pengendapan. Proses sedimentasi terdiri dari beberapa tahap diantaranya adalah transportasi sedimen (*transport sediment*), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compactions*). Pembentukan sedimen tergantung pada kondisi perubahan hujan atau kemarau, kecepatan aliran, dan kecepatan yang di sebabkan oleh aktivitas manusia. Sedimentasi dapat mengontrol konsentrasi logam berat yang terserap ke dalam jaringan yang ada di perairan. Merkuri terakumulasi ke dalam sedimen karena adanya proses alamiah yaitu pelapukan batuan termineralisasi (Pangestu dan Haki, 2013). Merkuri juga dapat terakumulasi karena proses pengolahan emas (amalgamasi) (Sajidah, 2019), dan proses penggunaan bahan kimia oleh industri (Hardiani, Kaerdiansyah, dan Sugesty, 2011).

Akumulasi logam pada sedimen akan meninggalkan bekas secara keseluruhan. Hal ini disebabkan oleh sifat logam Hg yang sulit terurai sehingga akan terus berada dalam sedimen. Reaksi fisika dan kimia sangat mempengaruhi konsentrasi logam Hg di perairan (Singh, Malik, Sinha, Singh, dan Murthy, 2005). Menurut standar baku mutu internasional IADC/CEDA (1997) di dalam Ronoko, Karwur, dan Lasut (2019), menyatakan bahwa konsentrasi logam Hg yang diperbolehkan dalam sedimen adalah 0,3 ppm. Logam Hg yang terkandung dalam sedimen biasanya berbentuk senyawa organik seperti metil merkuri (CH_3Hg). Logam Hg pencemar perairan biasanya berbentuk senyawa anorganik seperti (Hg^0) dan memiliki densitas yang relatif tinggi, sehingga logam Hg akan berada di sedimen dengan kedalaman 5-15 cm.

2.5. Bioakumulator

Bioakumulator merupakan tumbuhan yang dapat menyaring atau menyerap zat-zat pengotor dan pencemar secara alami di alam. Proses penyerapan tumbuhan bioakumulator dapat terjadi secara absorpsi. Bioakumulator pada umumnya mengabsorpsi atau mengakumulasi unsur logam. Logam-logam berat yang biasanya diakumulasi oleh bioakumulator diantaranya adalah Arsenic (As), Krom (Cr), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Timbal (Pb), Aluminium (Al), Besi (Fe), dan Merkuri (Hg) (Ihrom dan Sulistyarsi, 2015).

Tumbuhan adalah suatu makhluk hidup yang dapat memproduksi makanan sendiri dengan bantuan cahaya matahari. Tumbuhan merupakan organisme hidup yang umumnya mendapat suplai makan dari tanah dan air di sekitar area tempat hidupnya. Proses pembuatan makanan pada tumbuhan disebut dengan proses fotosintesis (Irfandi, 2013). Tumbuhan dapat mengalami proses absorpsi, difusi dan translokasi. Sehingga logam berat yang terakumulasi akan berada dalam seluruh bagian-bagian tumbuhan seperti pada akar, batang, daun, bunga dan buah (Panjaitan, 2009). Kadar penyerapan logam oleh tumbuhan sangat bervariasi, mulai dari konsentrasi rendah hingga konsentrasi tinggi. Semua tumbuhan dapat mengakumulasi zat-zat pencemar di lingkungan. Namun, tidak semua tumbuhan dapat bertahan dengan penyerapan logam berat dalam konsentrasi tinggi. Proses penyerapan logam berat atau zat pencemar oleh tumbuhan terjadi secara absorpsi. Proses absorpsi ini berlangsung secara alami di lingkungan hidup (Rondonuwu, 2014).

Akar tumbuhan adalah tempat awal terjadinya proses absorpsi zat pencemar yang berada dalam ekosistem air dan tanah. Akar tumbuhan dapat menyerap zat pencemar secara absorpsi karena memiliki senyawa fitokelatin. Senyawa fitokelatin berfungsi untuk mengikat senyawa logam. Membran sel pada tumbuhan berfungsi untuk membawa logam berat yang telah diakumulasi ke seluruh bagian tumbuhan. Proses absorpsi zat pencemar juga dapat terjadi pada bagian-bagian lain tumbuhan seperti pada daun (Puspita, Siregar, dan Hidayati, 2011).

Tumbuhan bioakumulator yang dapat mengakumulasi logam-logam berat diantaranya adalah tumbuhan *Neptunia oleracea* dapat mengakumulasi logam aluminium (Al) (Septiani dkk, 2017), Eceng gondong (*Eichhornia crassipes*) dapat mengakumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) (Rahayu dkk, 2014), mangrove (*Rhizophora apiculata*) sebagai bioakumulator logam kromium (Cr) dan seng (Zn) (Suprihatin dkk, 2014), dan nipah (*Nypa fruticans*) sebagai bioakumulator logam nikel (Ni) dan seng (Zn) (Nafie dkk, 2019).

2.5.1. Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*)

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) adalah salah satu jenis tumbuhan yang mudah hidup dan tersebar di seluruh daerah di Indonesia. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki satu divisi yaitu *Pteridophyta* yang terdiri dari beberapa jenisnya dan memiliki sistem pembuluh sejati (kormus). Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) terdiri dari dua bagian utama yaitu organ vegetatif dan organ generatif. Organ vegetatif terbagi atas empat bagian yaitu akar, batang, rimpang, dan daun. Organ generatif terdiri dari empat bagian yaitu *spora*, *sporangium*, *anteridium*, dan *arkegonium* (Arini dan Kinho, 2012).

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) mempunyai ciri khas tersendiri diantaranya seperti :

1. Memiliki akar serabut, batang, daun sejati dan berkembang biak menggunakan spora.
2. Memiliki *tropofil* (daun steril) dan *sporofil* (daun fertil).
3. Bersifat higrofit.
4. Dan berkembang biak secara seksual dan aseksual.

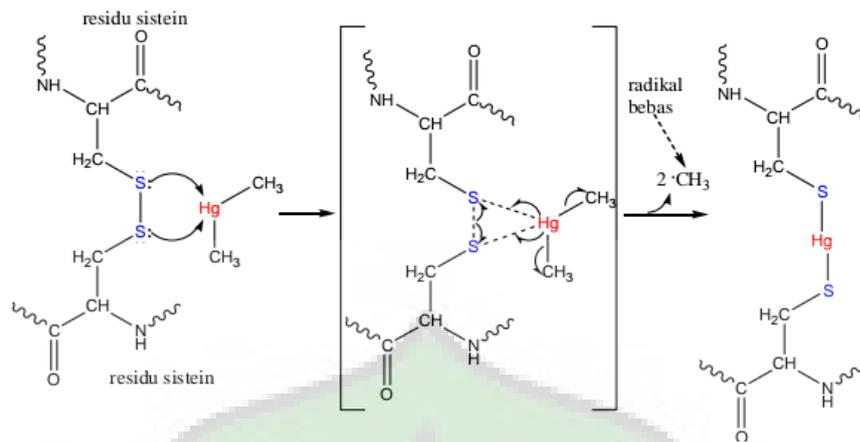
Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat dikategorikan menjadi empat kelas dan sebelas famili. Kelas tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) terdiri dari paku purba (*Psilophytinae*), paku rambat atau paku kawat (*Lycopodiinae*), dan paku sejati (*Fillicinae*) (Tjitrosoepomo, 2009). Pertumbuhan tanaman paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sangat dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik seperti iklim, tanah dan proses penyerapan unsur hara oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*). Tumbuhan paku

(*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki ciri-ciri fisik seperti daun menggulung ketika masih muda. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki akar yang adventif yang tumbuh secara horizontal di atas permukaan tanah dan di bawah tanah. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) merupakan tanaman monokotil yang ditandai dengan akar serabut yang berfungsi untuk menyerap air dan unsur hara (Sugiarti, 2017).



Gambar 2.3 Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*).

Tumbuhan pada umumnya mengandung senyawa metabolit primer seperti karbohidrat, protein dan lemak. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) mengandung metabolit sekunder seperti alkaloid, steroid, saponin, dan flavonoid (Muhammad, Side, dan Sulastri, 2017).



Gambar 2.4 Mekanisme pembentukan senyawa kompleks oleh senyawa sistein dengan logam Hg (Irfandi, 2013).

Fitokelatin adalah salah satu jenis protein yang dihasilkan oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*). Senyawa fotokelatin tersusun dari beberapa asam amino salah satunya adalah sistein. Sistein merupakan asam amino yang berfungsi mengikat logam Hg sehingga dapat membentuk senyawa kompleks. Senyawa kompleks yang dihasilkan kemudian ditranslokasikan ke bagian tumbuhan seperti akar, batang, daun, bunga dan buah (Triandy dkk, 2016).

2.6. Limbah Industri

Limbah merupakan suatu produk samping yang dihasilkan oleh suatu kegiatan atau usaha yang tidak memiliki nilai jual dan bersifat merugikan usaha atau kegiatan tersebut. Limbah industri biasanya berbentuk cair, padat dan gas. Rata-rata limbah industri bersifat toksik terhadap lingkungan dan makhluk hidup, sehingga bersifat merugikan lingkungan dan makhluk hidup. Dampak limbah industri terhadap kesehatan dan lingkungan diantaranya seperti tercemarnya sumber mata air, tanah, udara, dan menyebabkan kanker, tumor, penyakit kulit, dan lainnya. Bahan pencemar yang sering dijumpai di lingkungan diantaranya adalah logam kadmium (Cd), arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), asam sulfida (H₂S) amoniak (NH₃), dan karbon dioksida (CO₂) (Arief, 2016).

2.7. Metode Analisis Logam Hg

Analisis logam Hg dapat dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif merupakan suatu analisa yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya logam Hg. Sedangkan analisa kuantitatif adalah suatu analisa yang digunakan untuk mengetahui jumlah atau kadar logam Hg. Analisa kualitatif dapat dilakukan dengan uji warna (Rohaya, Ibrahim, dan Jamaluddin, 2017). Analisa kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) (Irsyad, Sikanna, dan Musafira, 2014), Flamefotometer, Spektrofotometer UV-VIS (Sari, Firdaus, dan Elvia, 2017), dan analisis aktivasi neutron (Taftazani, 2007). Berdasarkan SNI 6989.78:2011, pengujian logam Hg pada air atau sedimen dapat dilakukan dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-uap dingin atau *Mercury Analyzer*.

2.8. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer serapan atom (SSA) adalah instrumen yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur logam dan metaloid dengan pengukuran berdasarkan penyerapan cahaya pada panjang gelombang spesifik oleh atom dalam keadaan bebas. Prinsip utama dari spektrofotometer serapan atom adalah bila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas penyerap berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas dalam sel tersebut. Senyawa dalam sel akan diuapkan oleh sumber cahaya dan diuraikan menjadi uap-uap atom bebas dalam proses atomisasi. Uap-uap atom bebas tersebut akan diserap oleh lampu katoda dan sebagiannya lagi akan transmisikan. Kemudian detektor akan mengukur absorbansi dari uap-uap atom bebas yang telah ditransmisikan (Yulianto dan Muchsin, 2011).

Instrumen spektrofotometer serapan atom terdiri dari :

1. Sel atom

Ada dua tahap pertama yang terjadi dalam sel atom yaitu:

- a. Nebulisasi, adalah tahap untuk menghasilkan suatu bentuk aerosol yang halus dari larutan contoh.

b. Disosiasi, adalah tahap dimana analit menjadi atom-atom bebas dalam keadaan gas.

2. Sumber cahaya

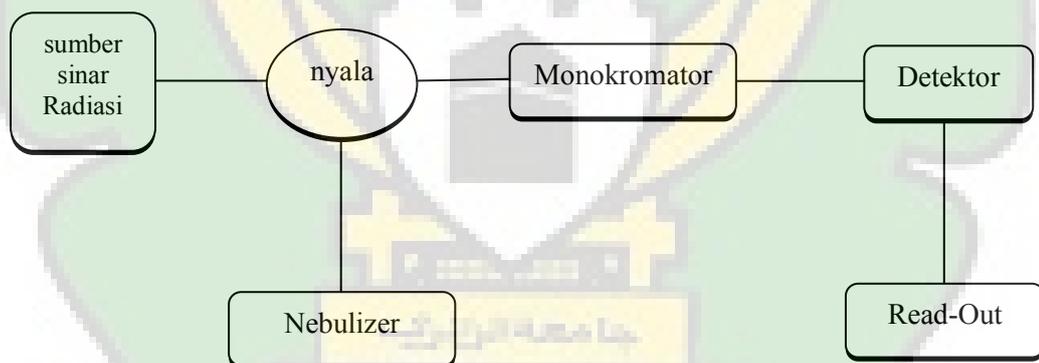
Sumber cahaya spektrofotometer serapan atom adalah lampu katoda berongga. Lampu katoda berongga terdiri dari suatu anoda dan katoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kuarsa.

3. Monokromator

Monokromator yang digunakan dalam instrumen spektrofotometer serapan atom adalah difraksi grating. Difraksi grating menggunakan cermin untuk memancarkan cahaya.

4. Detektor

Detektor yang digunakan dalam instrumen spektrofotometer serapan atom adalah tabung pengganda proton yang terdiri dari katoda yang telah dilapisi senyawa yang bersifat peka cahaya dan anoda yang mampu mengumpulkan elektron (Underwood dan Day, 2002).



Gambar 2.5 Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom

Penggunaan instrumen spektrofotometer serapan atom memiliki keuntungan seperti menunjukkan hasil yang lebih spesifik, cukup ekonomis, dan dapat diaplikasikan pada banyak jenis unsur. Namun, instrumen spektrofotometer serapan atom mempunyai kelemahan seperti tidak mampu menguraikan larutan menjadi ion-ion dan pengaruh bionisasi dapat menimbulkan emisi pada panjang gelombang yang sama.



Gambar 2.6 Spektrofotometer Serapan Atom
SHIMADZUU AA-7000.

Kelebihan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah :

1. Spesifik.
2. Batas deteksi yang cukup rendah.
3. Pengukurannya langsung terhadap contoh.
4. Output dapat langsung dibaca.
5. Ekonomis.

2.8.1. Spektroskopi Serapan Atom Uap Dingin (SSA-UD)

Spektroskopi serapan atom uap dingin merupakan metode pengukuran atom-atom logam yang menggunakan uap dingin untuk memasukkan sampel. Metode spektroskopi serapan atom uap dingin memiliki tingkat akurasi yang cukup baik karena kesalahan analisis kurang dari 1%. Metode spektroskopi serapan atom uap dingin memiliki beberapa kelebihan seperti ketelitian, kepekaan dan ketepatan yang tinggi serta mampu mendeteksi konsentrasi sampel dalam konsentrasi rendah seperti dalam satuan pbb (*part per billion*). Logam Hg memiliki tekanan uap yang cukup tinggi pada suhu kamar, sehingga spektroskopi serapan atom uap dingin menggunakan alat tambahan yang disebut VGA (*Vapour*

Generation Accessories). Penggunaan VGA pada Spektroskopi serapan atom uap dingin akan menghasilkan uap yang lebih stabil dan monokromatik. Hal ini menyebabkan logam merkuri akan terabsorpsi tanpa menggunakan nyala atau metode atomisasi lainnya (Mukharromah, 2015).

2.9. Penelitian Relevan

Beberapa penelitian tentang analisis pencemaran lingkungan oleh logam berat pada tumbuhan telah dilakukan oleh para peneliti dengan berbagai jenis tumbuhan. Ali dan Rina (2010) menjelaskan tentang kemampuan tanaman mangrove (*Rhizophora apiculata*) dalam menyerap logam berat dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), menyatakan bahwa tanaman mangrove jenis *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, dan *Bruguiera gymnorrhiza* dapat menyerap logam berat namun tidak dapat bertahan terhadap konsentrasi toksik. Khairuddin dan Syukur (2018) meneliti tentang kandungan logam berat pada tumbuhan mangrove dengan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), menunjukkan bahwa tanaman mangrove spesies bakau dapat menyerap logam berat dengan rata-rata 3,74 ppm hingga 4,15 ppm.

Berdasarkan Putra dkk (2019), menganalisis tumbuhan lamun (*Nypa fruticans*) sebagai bioakumulator logam seng (Zn) pada perairan Jepara dengan metode *purposive sampling*, menyatakan bahwa tumbuhan lamun dapat mengakumulasi logam berat seng sebanyak 1,14 mg/L hingga 1,70 mg/L. Menurut Triandy dkk (2016), tumbuhan bakau (*Rhizophora mucronata*) dapat mengakumulasi logam besi dan tembaga dengan analisis instrumen Spektrofotometer Serapan Atom, di musim hujan logam besi dan tembaga dapat terakumulasi sebanyak 6.761,17 mg/L dan 50 mg/L serta di musim kemarau sebesar 6.758,28 mg/L dan 37,98 mg/L.

Menurut Sugianto, Yona, dan Kasitowati (2016) tentang penyerapan logam berat timbal dan kadmium oleh tumbuhan lamun dengan metode *sampling*, menunjukkan bahwa konsentrasi logam timbal dan kadmium pada daun secara berturut-turut sebesar 0,2214 – 0,4210 ppm dan 0,0567 – 0,0794 ppm, sementara pada akar sebanyak 0,067 – 0,4224 dan 0,05 – 0,0684 ppm, pada daun terjadi penyerapan logam berat lebih tinggi dari pada di akar. Sementara menurut Nafie

dkk (2019), tumbuhan nipah dapat mengakumulasi logam berat seperti Ni dan Zn pada air Sungai Tallo Makassar, logam Ni dan Zn yang terakumulasi rata-rata sebanyak 20.441,2 ppm dan 1.560,3 ppm dari akar, pelepah dan daun, penyerapan terbanyak terjadi pada pelepah pohon nipah.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Laboratorium Biologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Syiah Kuala dan Laboratorium Kimia Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh pada bulan Februari 2020.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000, neraca analitik, penangas air, Erlenmeyer 100 mL, gelas kimia 100 mL, gelas kimia 50 mL, kaca arloji, gelas ukur 5 mL, labu takar 250 mL, corong, spatula, batang pengaduk, pipet tetes, *cutter*, dan kantong sampel.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuades (H_2O), tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*), sedimen, asam nitrat (HNO_3) pekat, asam sulfat (H_2SO_4) pekat, kalium permanganat ($KMnO_4$) 5%, kalium persulfat ($K_2S_2O_8$) 5%, hidrosilamin-NaCl, timah (II) klorida ($SnCl_2$) 10%, kertas saring, dan larutan standar merkuri.

3.3. Cara Kerja

3.3.1. Penentuan Titik Pengambilan Sampel

Penentuan titik sampel dilakukan dengan metode *Purposive Sampling*, yaitu penentuan kelompok subjek berdasarkan ciri-ciri atau sifat-sifat populasi tertentu. Adapun ciri-ciri atau sifat populasi yang diperlukan diantaranya yaitu titik pengambilan sampel harus langsung terkontaminasi oleh logam Hg dari aktivitas penambangan emas dan terdapat tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) yang tumbuh subur disekitar area yang terkontaminasi (Hadi, 1980). Penentuan titik sampel dilakukan pada wilayah penambangan emas yang

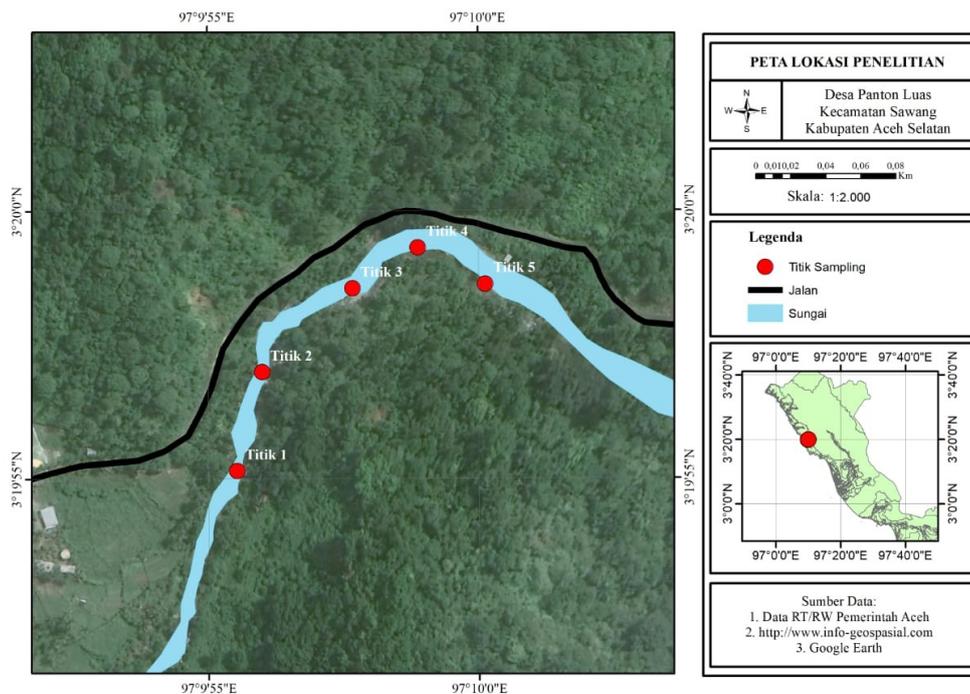
terdapat di Desa Pantan Luas. Tempat pengambilan sampel terdiri dari 5 titik lokasi.

Tabel 3.1. Lokasi pengambilan sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas.

No.	Kode Sampel	Lokasi Sampel	Jarak Lokasi Gelendong		Jarak Tumbuhan paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>) dengan sedimen
			Tumbuhan paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>)	Sedimen	
1.	Titik 1	Hulu Alu Sejahtera	1 meter	1 meter	1 meter
2.	Titik 2	Hilir Alu Sejahtera	1 meter	1 meter	1 meter
3.	Titik 3	Alu Meutuah	2 meter	1 meter	1 meter
4.	Titik 4	Hulu Alu Bahagia	1 meter	1 meter	1 meter
5.	Titik 5	Hilir Alu Bahagia	1 meter	1 meter	1 meter

Keterangan :

Gelendong adalah tempat berlangsungnya proses amalgamasi.



Gambar 3.1 Peta lokasi dan titik pengambilan sampel di kawasan pertambangan emas Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan.

3.3.2. Preparasi Sampel

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen diambil dari 5 titik yang berbeda. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) diambil sebanyak 1 Kg di setiap titik. Sampel sedimen diambil pada kedalaman 7 cm hingga 15 cm. Selanjutnya sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dibersihkan dengan air hingga bersih. Sedangkan sedimen dibersihkan dari sampah yang ikut terangkat saat pengambilan sampel. Kemudian kedua sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen dikeringkan di bawah sinar matahari selama 6 jam hingga sampel kering. Selanjutnya kedua sampel dipotong-potong dan digerus hingga berbentuk serbuk (Kosegeran dkk, 2015).

3.3.3. Analisis Sampel Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*)

Sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) ditimbang sebanyak $\pm 1,0$ gram sampel kering dan ditambahkan 2,5 mL larutan asam nitrat (HNO_3) pekat, 5 mL larutan asam sulfat (H_2SO_4) pekat dan tambahkan 15 mL larutan kalium permanganat (KMnO_4) 5% kemudian didiamkan sampai 15 menit (jika warna ungu hilang, maka tambahkan kembali larutan kalium permanganat (KMnO_4) hingga warna ungu tidak hilang). Kemudian tambahkan 8 mL larutan kalium persulfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) 5% lalu dipanaskan dalam penangas air selama 2 jam pada suhu 95°C . Setelah itu sampel didinginkan pada suhu kamar dan ditambahkan larutan hidrosilamin-NaCl 10% secukupnya untuk mereduksi kelebihan KMnO_4 , selanjutnya sampel disaring. Filtrat yang dihasilkan kemudian ditambahkan 5 mL larutan timah (II) klorida (SnCl_2) 10%. Selanjutnya diukur kadar merkuri (Hg) pada sampel menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000 pada λ 253,7 nm (SNI-6989.78, 2011).

3.3.4. Analisis Sampel Sedimen

Ditimbang sampel sedimen sebanyak $\pm 1,0$ gram sampel kering dan ditambahkan 2,5 mL larutan asam nitrat (HNO_3) pekat, 5 mL larutan asam sulfat (H_2SO_4) pekat dan tambahkan 15 mL larutan kalium permanganat (KMnO_4) 5% kemudian didiamkan sampai 15 menit (jika warna ungu hilang, maka tambahkan kembali larutan kalium permanganat (KMnO_4) hingga warna ungu tidak hilang).

Kemudian tambahkan 8 mL larutan kalium persulfat ($K_2S_2O_8$) 5% lalu dipanaskan dalam penangas air selama 2 jam pada suhu $95^\circ C$. Setelah itu sampel didinginkan pada suhu kamar dan ditambahkan larutan hidrosilamin-NaCl 10% secukupnya untuk mereduksi kelebihan $KMnO_4$, selanjutnya sampel disaring. Filtrat yang dihasilkan kemudian ditambahkan 5 mL larutan timah (II) klorida ($SnCl_2$) 10%. Selanjutnya diukur kadar merkuri (Hg) pada sampel menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000 pada λ 253,7 nm (SNI-6989.78, 2011).

3.3.5. Pembuatan Larutan Standar Logam Hg

Dilarutkan 1,35 gram $HgCl_2$ dengan akuades lalu dimasukkan kedalam labu takar 1000 mL dan diencerkan hingga tanda batas serta dikocok hingga homogen. Larutan standar merkuri kemudian dipipet 10 mL dan diencerkan kedalam labu takar 100 mL dan ditambah akuades hingga tanda batas labu takar 100 mL, kemudian dihomogenkan.

3.3.6. Pembuatan Deret Standar Logam Hg

Larutan deret standar merkuri (Hg) dibuat dengan konsentrasi 0 ppm, 4 ppm, 8 ppm, 12 ppm, 16 ppm, dan 20 ppm dalam labu tukur 100 mL. Ukurlah kadar logam merkuri (Hg) dalam larutan deret dengan λ 253,7 nm menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000 pada λ 253,7 nm (SNI-698978:2011).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Hasil Pengukuran Larutan Standar Logam Hg

Data hasil pengukuran logam Hg pada setiap konsentrasi dari larutan standar dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Larutan Standar Hg menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000.

No	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0	0
2	4	0,0114
3	8	0,025
4	12	0,0372
5	16	0,0522
6	20	0,0683

4.1.2. Analisis Kadar Logam Hg pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos*) dan Sedimen.

Kandungan logam Hg yang terserap oleh tanaman paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen secara alami di lingkungan pada kawasan pertambangan emas di Desa Pantan Luwas, dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran kadar logam Hg yang terakumulasi dalam tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) SHIMADZUU AA-7000

No	Sampel	Konsentrasi logam Hg	
		Tumbuhan Paku (<i>Pityrogramma calomelanos L</i>) (mg/Kg)	Sedimen (mg/Kg)
1.	Titik 1	0,2334	0,6001
2.	Titik 2	0,1941	0,553
3.	Titik 3	0,1215	1,0793
4.	Titik 4	0,023	0,5305
5.	Titik 5	0,0114	0,2095

4.2. Pembahasan

4.2.1. Preparasi Sampel

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) merupakan sayuran hijau yang tidak dapat dikonsumsi dan termasuk dalam divisi *Pteridophyta*. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki ciri-ciri fisik seperti warna daun hijau muda, batang berwarna coklat kehitaman, dan batang yang tegak serta memiliki akar serabut (Ayatusa'adah dan Dewi, 2017). Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) berpotensi untuk dijadikan bioakumulator logam berat, karena memiliki kandungan protein yang cukup tinggi. Selain dapat dimanfaatkan sebagai bioakumulator, tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) juga dimanfaatkan sebagai inhibitor organik (Amburika dan Sutoyo, 2019) dan antibakteri (Julita, 2012). Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) biasanya hidup di tanah berbatu dan hidup secara berkelompok (Hasibuan, Rizalinda dan Rusmiyanto, 2016). Identifikasi tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dilakukan di Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Universitas Syiah Kuala.

Klasifikasi taksonomi tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*):

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Sub Kingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Divisi	: <i>Pteridophyta</i>
Kelas	: <i>Filicopsida</i>
Sub Kelas	: <i>Polypoditae</i>
Ordo	: <i>Polypodiales</i>
Famili	: <i>Pteridaceae</i>
Genus	: <i>Pityrogramma Link</i>
Spesies	: <i>Pytirogramma calomelanos (L) Link</i>

Teknik pengambilan sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) merupakan suatu parameter yang sangat penting dalam melakukan suatu penelitian. Karena pengambilan sampel tersebut sangat mempengaruhi keakuratan data dan kebenaran dari hipotesis. Dalam penelitian ini, sampel yang diambil merupakan tumbuhan paku dengan jenis *Pityrogramma calomelanos L* yang

berada di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas. Dimana tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen diambil dari 5 titik lokasi yang berbeda.

Dalam penentuan sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai biokumulator logam Hg, kriteria yang harus dipenuhi diantaranya adalah :

1. Lingkungan tersebut positif tercemar logam Hg.
2. Pengambilan sampel tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) tidak memperhatikan umur.
3. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) yang digunakan sebagai sampel berasal dari tumbuhan subur dengan ciri-ciri fisik daun rimbun, batang tinggi dan keras serta tumbuh dalam jumlah yang banyak (Kosegeran dkk, 2015).

Daerah tempat pengambilan sampel telah dilaporkan positif tercemar logam Hg. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Asiah dkk (2015), menunjukkan bahwa kadar logam Hg dalam urin pekerja tambang emas di Desa Pantan Luwas dinyatakan positif. Rata-rata konsentrasi logam Hg pada urin pekerja adalah 2,82 µg/L. Namun, konsentrasi logam Hg dalam urin masih dalam batas normal yang ditetapkan oleh WHO yaitu 4 µg/L. Berdasarkan penelitian Emelda dkk (2017), menyatakan bahwa di kawasan perairan sungai Sikulat, Kecamatan Sawang telah tercemar oleh logam Hg. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji kadar logam Hg pada organ tubuh ikan yang terdiri bagian kepala sebesar 0,679 ppm dan bagian badan ikan sebanyak 1.541 ppm. Konsentrasi logam Hg yang terakumulasi pada ikan telah melebihi nilai standar mutu yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah No.82 tahun 2001 untuk perikanan yaitu 0,001 ppm.

Preparasi sampel adalah tahapan yang sangat penting dalam menganalisis kadar logam Hg. Suatu komponen atau elemen yang terdapat dalam sampel dapat mengganggu konsentrasi logam Hg yang ingin kita amati dan analisis. Sehingga diperlukan pemanasan, penambahan larutan kimia dan pengenceran larutan sampel agar konsentrasi komponen atau elemen yang tidak kita inginkan dapat mengalami penurunan sehingga dapat diperoleh hasil yang diinginkan (Lestari, 2009).

Proses preparasi sampel diawali dengan memotong dan menggerus sampel yang telah kering sehingga diperoleh sampel dalam bentuk serbuk. Tahap ini bertujuan untuk memperluas permukaan sampel, sehingga dapat mempercepat laju reaksi kimia dan mempercepat proses destruksi (Sitorus, 2014). Sampel yang telah dihaluskan, kemudian dipreparasi dengan metode destruksi basah (Sajidah, 2019).

Menurut Hidayati (2013), metode destruksi basah lebih bagus daripada metode destruksi kering karena suhu yang digunakan tidak terlalu tinggi sehingga dapat mengurangi tingkat kehilangan senyawa yang diinginkan dan prosesnya berlangsung lebih cepat. Metode destruksi basah juga dapat digunakan untuk mengetahui unsur-unsur dengan konsentrasi yang rendah. Metode destruksi ini digunakan untuk membantu proses oksidasi serta perubahan senyawa-senyawa organik dengan bantuan energi panas dan larutan oksidator kuat pada proses destruksinya. Larutan oksidator yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam sulfat, asam nitrat, kalium permanganat dan kalium persulfat.

Metode destruksi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu destruksi basah terbuka menggunakan penagas air. Proses pemanasan dilakukan pada suhu 95°C karena asam nitrat memiliki titik didih pada suhu 120°C. Hal ini dilakukan agar larutan asam nitrat tidak menguap ketika proses destruksi dilaksanakan (Amalullia, 2016). Menurut Akbar (2017), proses pemanasan berfungsi untuk mempercepat terjadinya proses pemutusan antara logam dengan senyawa organik pada ikatan senyawa kompleks. Pada dasarnya kekuatan ikatan kovalen lebih kecil daripada ikatan ionik. Sehingga ikatan kovalen akan lebih cepat mengalami pemutusan ikatannya dengan senyawa organik.

Penambahan HNO₃ berfungsi untuk membentuk logam anorganik dari bentuk logam organik. Ketika dilakukan pemanasan akan terbentuk gas CO₂. Gas CO₂ terbentuk akibat terjadinya penguraian bahan organik yang ditandai dengan timbulnya gelembung-gelembung gas ketika destruksi dilakukan. Selain gas CO₂ pada tahap ini juga dapat terbentuk gas NO_x (Wulandari dan Sukesi, 2013). Sedangkan penambahan H₂SO₄ berfungsi sebagai oksidator kuat untuk mempercepat serta menyempurnakan proses destruksi sampel. Asam nitrat merupakan oksidator utama dalam proses destruksi sampel, sedangkan asam

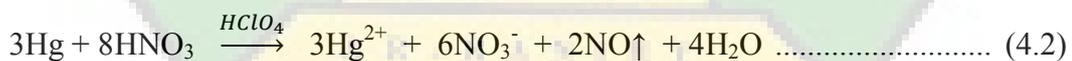
perklorat merupakan oksidator pembantu (katalis) yang membantu memaksimalkan kinerja asam nitrat (Nurmalasari, 2016).

Penggunaan larutan KMnO_4 dan $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dalam proses destruksi juga berfungsi sebagai larutan oksidator untuk memutuskan ikatan logam Hg organik menjadi Hg anorganik. Sedangkan penggunaan larutan hidrosilamin-NaCl berfungsi sebagai larutan reduktor untuk mereduksi KMnO_4 yang berlebih (Arel, Andayani, Rahmi dan Ningsih, 2020). Proses destruksi yang telah sempurna dapat dilihat dari perubahan warna larutan menjadi jernih saat dilakukan proses pemanasan (Irfandi, 2016). Setelah proses destruksi selesai, kemudian sampel disaring. Sebelum dilakukan pengujian logam Hg, sampel yang telah disaring harus ditambahkan larutan SnCl_2 dengan konsentrasi 10%. Larutan SnCl_2 berfungsi sebagai larutan reduktor untuk mentralkan muatan logam Hg. Setelah tahap destruksi selesai, atom-atom Hg dalam sampel akan berada dalam kondisi ion positif yaitu Hg^{2+} . Sehingga harus direduksi terlebih dahulu agar atom-atom Hg dapat bermuatan netral (Hg). Hal ini dilakukan karena atom Hg yang netral akan mudah menguap menjadi atom-atom Hg pada suhu normal (Lertari, 2015).

Berikut ini reaksi yang terjadi ketika proses destruksi logam menjadi bentuk garamnya yaitu (Agusti, 2019):



Adapun reaksi yang terjadi ketika penambahan larutan oksidator pada sampel saat didestruksi adalah sebagai berikut (Lestari, 2015) :



4.2.2. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Logam Hg

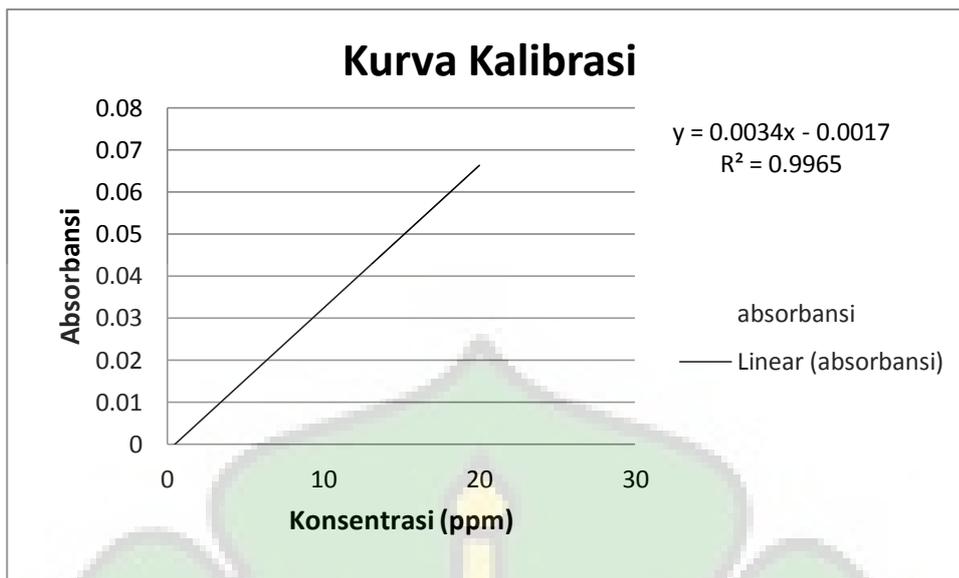
Kurva kalibrasi larutan standar merupakan bagian penting yang tidak dapat dihilangkan dalam pengujian konsentrasi suatu unsur dalam analisis menggunakan instrumen SSA. Hukum Lambert-Beer adalah dasar dalam pembuatan kurva kalibrasi larutan standar. Bentuk hukum lambert-Beer yaitu $A = a \cdot b \cdot C$. A adalah absorbansi sampel, a adalah *intersep*, b adalah tebal nyala dan C adalah

konsentrasi sampel. Dilihat dari persamaan hukum Lambert-Beer, maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi sampel maka akan semakin tinggi absorbansi yang dihasilkan (Underwood dkk, 2002).

Larutan Hg dibuat dari 1,35 gram HgCl_2 yang dilarutkan dengan H_2O dalam labu ukur 1000 mL untuk menghasilkan konsentrasi logam Hg 1000 ppm. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses pengenceran larutan Hg ke konsentrasi yang lebih kecil. Kemudian larutan Hg 1000 ppm diencerkan ke konsentrasi 100 ppm. Selanjutnya diencerkan kembali untuk memperoleh konsentrasi larutan logam Hg 4 ppm, 8 ppm, 12 ppm, 16 ppm dan 20 ppm, lalu diukur pada panjang gelombang maksimum 253,7 nm. Pengukuran logam Hg dilakukan pada panjang gelombang 253,7 nm. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang 253,7 nm yang memiliki sensitivitas paling bagus serta logam selain Hg yang terdapat dalam sampel tidak dapat berinteraksi pada panjang gelombang ini (Robinson, 1996). Cahaya pada panjang gelombang 253,7 nm juga memiliki energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom, sehingga transisi elektronik suatu atom dapat bersifat spesifik (Khopkar, 1990).

Menurut Hadi dan Asiah (2017), perbedaan konsentrasi pada pengukuran kurva kalibrasi larutan standar dilakukan agar dapat diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui respon instrumen SSA terhadap konsentrasi analit. Jika $R^2 \leq 1$, maka instrumen memberikan respon yang kuat terhadap perubahan konsentrasi analit.

Penyerapan radiasi cahaya elektromagnetik oleh sampel terjadi pada panjang gelombang maksimum, sehingga dapat menghasilkan nilai absorbansi. Kurva larutan standar Hg dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva kalibrasi larutan standar logam Hg.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan Hg maka akan semakin tinggi nilai absorbansi yang dihasilkan. Berdasarkan data yang di hasilkan dari grafik di atas, maka dapat dibuat persamaan garis linier $y = bx + a$. Dimana y adalah absorbansi sampel, a adalah *intersep*, b adalah *slope* dan x adalah konsentrasi sampel, sehingga dari persamaan linier tersebut dapat diperoleh persamaan kurva larutan standar logam Hg berbentuk $y = 0,0034x - 0,0017$. Dari persamaan linier di atas menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9965. Hal ini menunjukkan bahwa respon instrumen SSA terhadap konsentrasi larutan standar telah memenuhi syarat, karena nilai R^2 telah mendekati +1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa instrumen SSA dalam keadaan baik dan persamaan linier tersebut dapat digunakan dalam menghitung konsentrasi sampel (Hadi dan Asiah, 2017).

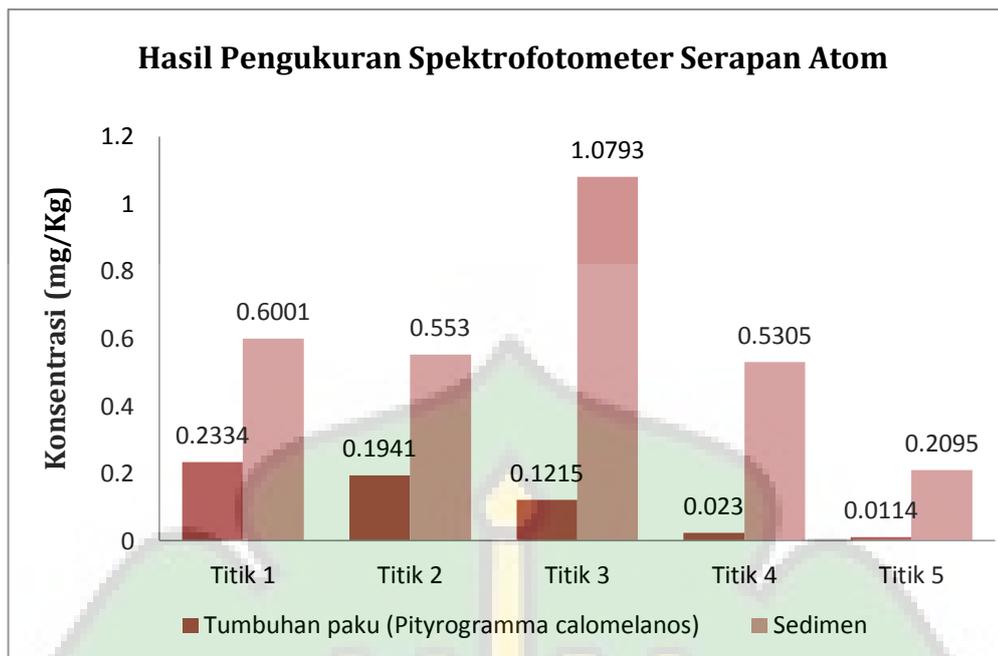
Uji linieritas adalah metode yang sering digunakan dalam membuktikan hubungan linier dengan konsentrasi larutan standar yang sebenarnya dengan respon instrumen. Nilai koefisien korelasi (R^2) menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi secara linear. Persamaan regresi linier yang dihasilkan dari kurva larutan standar logam Hg pada gambar 4.1 di atas adalah $y = 0,0034x - 0,0017$ dan nilai $R^2 = 0,9965$. Hal ini menunjukkan bahwa hasil tersebut sesuai dengan hukum *Lambert-Beer*. Sensitivitas yang dihasilkan dari kurva larutan standar Hg ditunjukkan dengan nilai *slope* (kemiringan) sebesar 0,0034. Dari nilai

slope (kemiringan) tersebut dapat dijelaskan bahwa setiap perubahan konsentrasi pada sumbu x akan memberikan perubahan terhadap nilai absorbansi pada sumbu y sebanyak 0,0034.

Hasil pengujian larutan standar logam Hg menunjukkan bahwa nilai absorbansi meningkat seiring dengan meningkatnya nilai konsentrasi larutan standar (ppm). Pada konsentrasi larutan standar 0 ppm diperoleh nilai absorbansinya sebesar 0,0, konsentrasi 4 ppm diperoleh nilai absorbansinya sebesar 0,0114, pada konsentrasi 8 ppm diperoleh nilai absorbansinya sebesar 0,0250, konsentrasi 12 ppm diperoleh nilai absorbansinya sebesar 0,0372, konsentrasi 16 ppm dihasilkan nilai absorbansi sebesar 0,0522 dan konsentrasi larutan standar 20 ppm diperoleh nilai absorbansinya sebesar 0,0683.

4.2.3. Analisis kadar Logam Hg pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan Sedimen.

Logam Hg merupakan salah satu bahan pencemar di lingkungan yang dapat membahayakan makhluk hidup di sekitar lingkungan tersebut. Dari hasil analisis di laboratorium, memperlihatkan bahwa tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen telah mengakumulasi logam Hg yang berasal dari limbah pertambangan emas pada proses amalgamasi. Hasil pengukuran serapan pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen untuk analisis logam Hg yang terdapat di kawasan pertambangan emas di Desa Pantan Luwas, Kecamatan Sawang, Kabupaten Aceh Selatan dengan instrumen SSA SHIMADZUU AA-7000 dapat dilihat dalam gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Konsentrasi logam Hg pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen.

Gambar 4.2 menunjukkan konsentrasi logam Hg yang terakumulasi pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen secara alami di alam yang berasal dari limbah amalgamasi di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luas. Penyerapan konsentrasi logam Hg oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen berbeda-beda untuk setiap titik. Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa konsentrasi logam Hg tertinggi yang terakumulasi pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) terdapat pada titik 1 sebesar 0,02334 mg/kg, dan pada sedimen terdapat pada titik 3 sebanyak 1,0793 mg/kg. Sedangkan konsentrasi logam Hg terkecil yang terakumulasi oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebesar 0,0114 mg/kg yang terdapat pada titik 5 dan penyerapan konsentrasi logam Hg terendah oleh sedimen terdapat pada titik 5 sebanyak 0.2095 mg/kg.

Berdasarkan data pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa konsentrasi yang terakumulasi pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan sedimen berbeda-beda untuk setiap titik. Perbedaan penyerapan konsentrasi tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Menurut Supriyantini dan Soenardjo (2015), penyerapan logam berat di lingkungan secara alami dapat

dipengaruhi oleh musim (hujan dan kemarau), salinitas, pH, jenis logam dan spesies tumbuhan.

Perbedaan konsentrasi logam yang terakumulasi oleh tumbuhan dan sedimen juga dapat disebabkan oleh penurunan mobilitas logam karena terikat pada bahan organik sehingga menyebabkan logam lebih mudah terakumulasi pada sedimen dengan terikat pada partikel-partikel sedimen. Berdasarkan penelitian Basri dan Hamzah (2015), menyatakan bahwa penyerapan logam-logam berat lebih banyak terjadi pada tumbuhan yang berada di air dari pada tumbuhan yang ada di darat. Hal ini disebabkan oleh mobilitas logam di tanah lebih lambat dari pada di air. Menurut Hidayati (2013), perbedaan konsentrasi yang terakumulasi pada tumbuhan juga dapat disebabkan oleh mobilitas logam pada akar. Sehingga proses translokasi logam dari akar ke tajuk terjadi secara lambat.

Faktor lingkungan dan perbedaan genetik dalam penyerapan juga merupakan faktor yang mempengaruhi proses penyerapan logam berat. Umur tanaman merupakan salah satu faktor lingkungan yang menentukan banyaknya akumulasi logam Hg terjadi. Penyerapan logam Hg juga dapat dipengaruhi oleh banyaknya logam Hg yang berada pada tanah tercemar logam Hg (Kosegeran dkk, 2015).

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa titik 4 dan 5 merupakan titik dengan penyerapan logam Hg terendah. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi pertambangan yang sudah tidak aktif lagi, sehingga air yang mengalir ke badan sungai tidak mengandung logam Hg dalam jumlah tinggi. Konsentrasi penyerapan logam merkuri tertinggi terjadi pada titik 1 dan 3. Pada titik 1 akumulasi logam Hg tertinggi terjadi pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*), sedangkan di titik 3 akumulasi logam Hg tertinggi terjadi pada sedimen. Hal ini dapat disebabkan oleh jarak tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) pada titik 1 dengan lokasi aliran limbah pertambangan lebih dekat dari pada di titik 3. Sehingga presentase terjadinya penyerapan logam Hg oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) di titik 1 lebih tinggi dibandingkan di titik 3. Menurut penelitian Sulistiana dkk (2015), perbedaan konsentrasi yang diserap oleh tumbuhan dapat disebabkan oleh jarak lokasi

pencemaran logam berat. Semakin dekat tumbuhan dengan lokasi pencemaran, maka akan semakin banyak konsentrasi logam berat yang diserap.

Penyerapan logam Hg pada sedimen dengan konsentrasi tertinggi terjadi pada titik 3, karena pada titik 3 merupakan titik pertemuan aliran limbah dari proses amalgamasi dan proses *blender*. *Blender* merupakan proses ekstraksi kedua setelah proses amalgamasi, dimana pada tahap ini akan diekstraksi limbah *tailing* yang merupakan limbah padat dari proses amalgamasi.

Berdasarkan data penyerapan konsentrasi logam Hg yang diakumulasikan oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) yang tertinggi sebesar 0,2334 mg/Kg. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) memiliki kandungan protein 4,5 lebih besar dari pada tumbuhan sayur lainnya, sehingga logam Hg dapat terakumulasi pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) tanpa meracuni tumbuhan tersebut. Protein merupakan suatu polimer yang tersusun dari beberapa gugus asam amino yang mengandung amina dan gugus samping (karbamida, merkupto dan imina). Gugus amina dan gugus samping berfungsi sebagai ligan dalam mengakumulasi logam berat. Salah satu gugus asam amino yang terkandung dalam tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) adalah sistein. Sistein merupakan salah satu asam amino yang memiliki gugus sulfhidril (-SH). Gugus sulfhidril akan membentuk senyawa kompleks dengan logam Hg yang diakumulasi oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dan ditransfer ke seluruh bagian tumbuhan (Umacina, Liestianty dan muliadi, 2014)

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) akan membentuk enzim reduktase pada membran akar tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) ketika menyerap logam Hg. Hal ini merupakan bentuk mekanisme toleransi tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) terhadap logam Hg. Setelah mengakumulasi logam Hg, enzim reduktase yang terbentuk akan ditranslokasikan keseluruh bagian tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) seperti batang dan daun melalui jaringan pengangkut xylem dan floem (Irfandi, 2016). Enzim reduktase merupakan enzim yang berfungsi untuk mereduksi logam untuk ditranslokasikan keseluruh jaringan yang ada. Enzim reduktase diproduksi oleh tumbuhan maupun mikroorganisme ketika proses akumulasi logam berat berlangsung (Abdullah, Hakim, Fitriandi dan Rahmawati, 2018).

Umumnya proses akumulasi logam tertinggi terjadi pada bagian akar. Hal ini dikarenakan tumbuhan menyerap sumber makanan melalui akar, sehingga unsur logam juga terserap oleh akar. Unsur logam yang terserap oleh akar akan terikat pada senyawa fitokelatin, Sehingga unsur logam akan terbawa ke bagian sel tumbuhan. Proses distribusi logam terjadi secara aktif yang bergantung pada anion dan kation yang ada tumbuhan tersebut (Puspita dkk, 2011).

Menurut Akbar (2017), senyawa fitokelatin terbentuk secara bersamaan dengan sintesis enzim glutathione sintetase. Unsur logam umumnya bersifat beracun terhadap tumbuhan. Namun, tumbuhan paku (*Pteris vittata*) dapat menetralkan logam dengan cara dikelat oleh zat khelat seperti senyawa fitokelatin. Penutralan logam Hg oleh senyawa fitokelatin akan membentuk senyawa kompleks. Dalam senyawa kompleks, logam Hg akan terikat oleh gugus sulfid (S) yang terdapat pada asam amino senyawa fitokelatin. Senyawa fitokelatin dapat dijumpai pada tumbuhan yang terdapat di daerah yang tercemar logam dengan konsentrasi yang tinggi. Senyawa fitokelatin merupakan produk yang terbentuk secara alami untuk beradaptasi terhadap lingkungan yang tercemar logam berat.

Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa kandungan logam Hg pada titik 1,2,3,4 yang terdapat di pertambangan emas Desa Pantan Luwas telah melebihi batas maksimum logam Hg sebagai zat pencemar lingkungan yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 yaitu 0,02 mg/Kg. Pada titik 5 penyerapan konsentrasi logam Hg oleh sedimen telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, sedangkan penyerapan konsentrasi logam Hg oleh tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) masih dalam baku mutu yang ditetapkan. Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) yang diambil di setiap titik di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas tidak memperlihatkan tanda-tanda keracunan, yang ditandai dengan tanaman layu, gangguan pada morfologi tumbuhan, tumbuhan yang mati dan memiliki potensi reproduksi secara banyak (Kosegeran dkk, 2015). Hal ini membuktikan bahwa tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat dijadikan sebagai tumbuhan bioakumulator logam Hg, sehingga dapat mengurangi pencemaran logam Hg akibat adanya aktivitas pertambangan emas di Desa Pantan Luwas.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang “Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai Bioakumulator Di Kawasan Pertambangan Emas Desa Pantan Luwas”, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*) dapat dijadikan tumbuhan bioakumulator, karena dapat mengakumulasi logam Hg tanpa meracuni tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*).
2. Konsentrasi logam Hg yang terakumulasi pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas diantaranya yaitu titik 1 sebanyak 0,2334 mg/Kg, titik 2 sebanyak 0,1941 mg/Kg, titik 3 sebanyak 0,1215 mg/Kg, titik 4 sebanyak 0,023 mg/Kg dan titik 5 sebanyak 0,0114 mg/Kg.
3. Konsentrasi logam Hg yang terakumulasi pada sedimen di kawasan pertambangan emas Desa Pantan Luwas diantaranya yaitu titik 1 sebanyak 0,6001 mg/Kg, titik 2 sebanyak 0,553 mg/Kg, titik 3 sebanyak 1,0793 mg/Kg, titik 4 sebanyak 0,5305 mg/Kg dan titik 5 sebanyak 0,2095 mg/Kg.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis yaitu :

1. Perlu dimanfaatkan tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) sebagai bioakumulator logam Hg untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah pertambangan emas.
2. Perlu adanya analisis konsentrasi logam Hg pada tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*) secara spesifik dengan membedakan antara batang, akar, dan daun.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap pencemaran logam Hg pada air sumur di Desa Pantan Luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Hakim, L., Fitriandi, E., dan Rahmawati. (2018). Deteksi Keberadaan Bakteri Resisten Logam Merkuri (Hg) Pada Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Di Simpji, Sekadau, Kalimantan Barat. *Indonesia Journal Of Pure and Applied*, 1(2), 56-61.
- Adinata, D. Y., Vie, A. R. C. D. C., dan Kusdarini, E. (2015). Identifikasi Limbah Pengolahan Emas dan Kualitas Air Di Sekitar Penambangan Emas Rakyat Jampang Kulon, Desa Kertajaya, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya: 503-511.
- Agusti, A., N. (2019). Analisis Logam Timbal Dan Tembaga Terhadap Daya Serap Rumput Laut *Gracilaria* sp. sebagai Bioabsorben. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Ar-raniry.
- Agus, C., Sukandarrumidi, S., dan Wintolo, D. (2005). Dampak Limbah Cair Hasil Pengolahan Emas Terhadap Kualitas Air Sungai Dan Cara Mengurangi Dampak Dengan Menggunakan Zeolit. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 12(1), 13–19.
- Akbar, S. (2017). Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (*Pteris vittata*) dengan Penambahan Karbon Aktif Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Limbah Merkuri (Hg). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Ali, M., dan Rina. (2010). Kemampuan Tanaman Mangrove Untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(2), 28–36.
- Amalullia, D. (2016). Analisis Kadar Timbal (Pb) pada Eyeshadow dengan Variasi Zat Pengoksidasi dan Metode Destruksi Basah Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Amburika, A. N., dan Sutoyo, S. (2019). Penggunaan Ekstrak Metanol Tumbuhan Paku Perak (*Pityrogramma calomelanos*) sebagai inhibitor Organik dalam Penurunan Laju Korosi Baja ASTM A36. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 5-Oktober : 122-131.
- Arel, A., Andayani, R., Rahmi, A., dan Ningsih, W. (2020). Analisis Merkuri (Hg) pada Lotion Pemutih Yang Beredar di Pasar Raya Kota Padang Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik (JIFFK)*. 1(2), 134-138.
- Arif, L. M. (2016). *Pengolahan Limbah Industri (Dasar-dasar Pengetahuan dan*

Aplikasi di Tempat Kerja). Yogyakarta : CV Andi Offset.

- Arini, D. I. D., dan Kinho, J. (2012). Keragaman Jenis Tumbuhan Paku (*Pteridophyta*) Di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara. *Info BPK Manado*. 2(1). 17-40.
- Asiah, N., Alfian, Z., Anwar, J., Siregar, Y., dan Bangun, D. (2012). Pengaruh Lama Kerja Terhadap Kadar Merkuri (Hg) Dalam Urin Pekerja Tambang Emas (Studi Kasus Di Desa Pantan Luas Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan). *Jurnal Pendidikan Kimia (JPKim)*, 7(2), 8. 50-61.
- Ayatusa'adah dan Dewi, N., A. (2017). Inventarisasi Tumbuhan Paku (*Pteridophyta*) Di Kawasan Kampus IAIN Palangka Raya Sebagai Alternatif Media Pembelajaran Materi Klasifikasi Tumbuhan. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematika*, 5(2),
- Aziz, M. (2014). The Model of Traditional Gold Mining and Its Environmental Management in The Paningkaban Village, Gumelar District, Banyumas Regency, Central Java. *Dinamika Rekayasa*, 10(1), 20–28.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2016). *Statistik Pertambangan Non Minyak Dan Gas Bumi*.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2011). *SNI 6989.78:2011, Air Dan Air Limbah- Bagian 78 : Cara Uji Raksa (Hg) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Uap Dingin Atau Mercury Analyzer*.
- Basri, S., dan Hamzah, E. (2015). Studi Eksperimen: Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) Untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Di Air. *Higiene*, 1(1), 49-59.
- Effendi, H. (2003). *Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Emelda, C., Supriatno, dan Ali, M. (2017). Tingkat Akumulasi Merkuri (Hg) Pada Organ Tubuh Kelas Gastropoda Di Kawasan Perairan Sungai Sikulat Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan. *Jurnal EduBio Tropika*, 5(April), 21–26.
- Gani, P. R., Abidjulu, J., dan Wuntu, A. D. (2017). Analisis Air Limbah Pertambangan Emas Tanpa Izin Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal MIPA*, 6(2), 6. <https://doi.org/10.35799/jm.6.2.2017.16927>
- Hadi, A., dan Asiah. (2017). *Statistika Pengendalian Mutu Internal*. Bogor : Press

Printing.

- Hadi, M. C. (2013). Bahaya Merkuri Di Lingkungan Kita. *Jurnal Skala Husada*, 10(2), 175–183.
- Hadi, S. (1980). *Metodologi Research*. Yayasan Penerbit Fakultas Psikologi UGM : Yogyakarta.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N., dan Fiqri, A., (2017). *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemaran Tanah*. UB Press : Malang.
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., dan Sugesty, S. (2011). Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah Terkontaminasi Limbah *Sludge* Industri Kertas Proses *Deinking*. *Jurnal Selulosa*. 1(1). 31-41.
- Hasibuan, H., Rizalinda, dan Rusmiyanto, E. (2016). Inventarisasi Jenis Paku-pakuan (*Pteridophyta*) Di Hutan Sebelah Darat Kecamatan Sungai Ambawang Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 5(1), 46-58.
- Hidayati, N. (2005). Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *HAYATI Journal of Biosciences*, 12(1), 35–40. [https://doi.org/10.1016/S1978-3019\(16\)30321-7](https://doi.org/10.1016/S1978-3019(16)30321-7)
- Hidayati, E., N. (2013). Perbandingan Metode Destruksi Pada Analisis Pb Dalam Rambut Dengan AAS. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Hidayati, N. (2013). Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 14(2), 75-82.
- Hutagalung, H. P. (1984). Logam berat dalam lingkungan laut. *Pewarta Oceana IX, 1*, 45–59.
- Ihrom, A., dan Sulistyarsi, A. (2015). Biomonitoring Pencemaran Udara Menggunakan Bioindikator Lichenes Di Kota Madiun. *Florea*, 2(2), 43–46. <https://doi.org/10.25273/florea.v2i2.414>
- Irfandi, R. (2016). *Fitoremediasi Tanaman Paku Pakis (Pteris Vittata) Terhadap Limbah Merkuri (Hg) Sintetik*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Irsyad, M., Sikanna, R., dan Musafira. (2014). Translokasi Merkuri (Hg) Pada Daun Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus Spinosis L*) Dari Tanah Tercemar. *Online Journal of Natural Science*, 3(1), 8–17.

- Julita, N. (2012). Aktifitas Antibakteri Senyawa Flavonoid dari Tumbuhan Paku Perak (*Pityrogramma calomelanos*). *UNESA Journal of Chemistry*. 1(1).
- Buwono, H. P., Satworo, Faizin, A., dan Mashudi, I. (2020). Kimia Teknik Untuk Teknisi Pesawat Udara. Yogyakarta : CV Budi Utama.
- Khairuddin, M. Y., dan Syukur, A. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(1), 69–79.
- Kitong, M. T., Abidjulu, J., dan Koleangan, H. S. J. (2012). Analisis Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di Sedimen Sungai Ranoyapo Kecamatan Amurang Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA UNSRAT Online*. 1(1). 16-19.
- Khopkar, S. M. (1990). *Konsep Dasar Analitik*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Kosegeran, A. O., Rondonuwu, S., Simbala, H., dan Rumondor, M. (2015). Kandungan Merkuri Pada Tumbuhan Paku (*Diplazium Accedens Blume*) Di Daerah Tambang Emas Tatelu-Talawaan, Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Sains*, 15(1), 59. <https://doi.org/10.35799/jis.15.1.2015.8303>
- Larasati, R., Setyono, P., dan Sambowo, K. A. (2012). Valuasi Ekonomi Eksternalitas Penggunaan Merkuri Pada Pertambangan Emas Rakyat Dan Peran Pemerintah Daerah Mengatasi Pencemaran Merkuri (Studi Kasus Pertambangan Emas Rakyat di Kecamatan Kokap Kulon Progo). *Jurnal EKOSAINS*, IV(1), 48–63.
- Lestari, F. (2009). *Bahaya Kimia Sampling dan Pengukuran Kontaminan Kimia Di Udara*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Lestari, W. F. (2015). Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) pada Teripang Terung (*phyllophorus sp.*) Asal Pantai Kenjeran Surabaya secara Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Lestaris, T. (2010). Faktor-faktor Yang Berhubungan Dengan Keracunan Merkuri (Hg) Pada Penambang Emas Tanpa Ijin (PETI) Di Kecamatan Kurun, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah. *Skripsi*. Universitas Diponegoro Semarang.
- Mahmud, M., Lihawa, F., Isa, I., dan Patuti, I. M. (2013). *Fitoremediasi sebagai Alternatif Pengurangan Limbah Merkuri Akibat Penambangan Emas Tradisional Di Ekosistem Sungai Tulabolo Kabupaten Bone Bolango*. Universitas Negeri Gorontalo.

- Mirdat., Patadungan, Y. S., dan Isrun. (2013). Status Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Tanah pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas Di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *Jurnal Agrotekbis*. 1(2). 127-134.
- Muhammad, M., Side, Sumiati., dan Sulatri. (2017). Identifikasi Senyawa Metabolit Sekunder Ekstrak n-Heksana Dari Rimpang Tanaman Paku Ekor Tupai *Drynaria quercifolia* Lin. *Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia*. 71-76.
- Mukharromah, I. Y. (2015). Penentuan Kadar Merkuri (Hg) dalam Ikan Lemuru (*Sardinella Lemuru*) Menggunakan Destruksi Basah Secara Spektroskopi Serapan Atom Uap Dingin (SSS-UD). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Nafie, N. La, Liong, S., dan Arifin, R. (2019). Fitoakumulasi Logam Ni dan Zn Dalam Tumbuhan Nipah (*Nypa fruticans*) Di Sungai Tallo Makassar. *Indo. J. Chem. Res.*, 7(1), 84–92. <https://doi.org/10.30598//ijcr.2019.5-nur>
- Nurmalasari, D. (2016). Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) pada Cat Rambut dengan Variasi Zat Pengoksidasi Menggunakan Destruksi Basah secara Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Panjaitan, G. Y. (2009). Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Pangestu, H., dan Haki, H. (2013). Analisis Angkutan Sedimen Total Pada Sungai Dawas Kabupaten Musi Banyuasin. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 1(1). 103-109.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (PMKRI), No. 57. (2016). *Rencana Aksi Nasional Pengendalian Dampak Kesehatan Akibat Paparan Merkuri Tahun 2016-2020*.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI), No. 101. (2014). *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Puspita, U. R., Siregar, A. S., dan Hidayati, N. V. (2011). Kemampuan tumbuhan air sebagai agen fitoremediator logam berat kromium (Cr) yang terdapat pada limbah cair industri batik. *Berkala Perikanan Terubuk*, 39(1).
- Puspitasari, R. F., Prasetya, A., dan Rahayuningsih, E. (2019). Penurunan Logam Hg dalam Air Menggunakan Sistem Sub-Surface Flow Constructed Wetland:

Studi Efektivitas. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 41–46.

- Putra, B. A., Santoso, A., dan Riniatsih, I. (2019). Kandungan Logam Berat Seng pada Enhalus acoroides di Perairan Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 8(1), 9. <https://doi.org/10.14710/buloma.v8i1.21378>
- Putranto, T. T. (2011). Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air Tanah. *TEKNIK*, 32(1), 62–71.
- Priyanto, N., Dwiyoitno., dan Ariyani, F. (2008). Kandungan Logam Berat (Hg, Pb, Cd, dan Cu) pada Ikan, Air, dan Sedimen Di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 3(1). 69-78.
- Rahayu, S. T., Faradilla, M., Verawati, E. Y., dan Triana, M. (2014). Respon Bioakumulator Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Logam Berat Pb Dan Cd Di Sungai Pegangsaan Dua. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 1(1), 32–37.
- Robinson, J. W. (1996). *Atomic Spectroscopy*. 2^{ad} ed. Departement of Chemistry University of Lousiana : Baton Rouge.
- Rohaya, U., Ibrahim, N., dan Jamaluddin. (2017). Analysis Of The Content Of Merkuri (Hg) In Unregistered Facial Whitening Creams Circulating In The Inpres Market Palu. *GALENKA Journal of Pharmacy*, 3(1), 77–83.
- Rondonuwu, S. B. (2014). Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(1), 52–59.
- Ronoko, S. R., Karwur, D. B. A., dan Lasut, M. T. (2019). Mercury (Hg) Contamination In Manado Bay, North Sulawesi, Indonesia. *Journal Of Aquatik Science & Management*. 7(1). 1-6.
- Sajidah. (2019). *Analisis Kandungan Megrkuri (Hg) pada Air dan Sedimen Sungai Geumpang, Pidie, Aceh*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Sari, P. I., Firdaus, M. L., dan Elvia, R. (2017). Pembuatan Nanopartikel perak (NPP) Dengan Bioreduktor Ekstrak Buah Muntingia calabura L Untuk Analisis Logam Merkuri. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 1(1), 20–26.
- Septiani, M. N., Rusmiyanto, E., dan Wardoyo, P. (2017). Pertumbuhan Dan Karakter Anatomi Mimosa Air (*Neptunia Oleracea Lour .*) Pada Air Yang Terpapar Logam Aluminium (Al). *Jurnal Protobiont*, 6(3), 75–82.
- Simange, S. M., Simbolon, D., dan Jusadi, D. (2011). Analisis Kandungan Merkuri (Hg) Dan Sianida (CN) Pada Beberapa Jenis Ikan Hasil Tangkapan

Nelayan Di Teluk Kao, Halmahera Utara. *Agroforestri*, 4(2), 335–353.

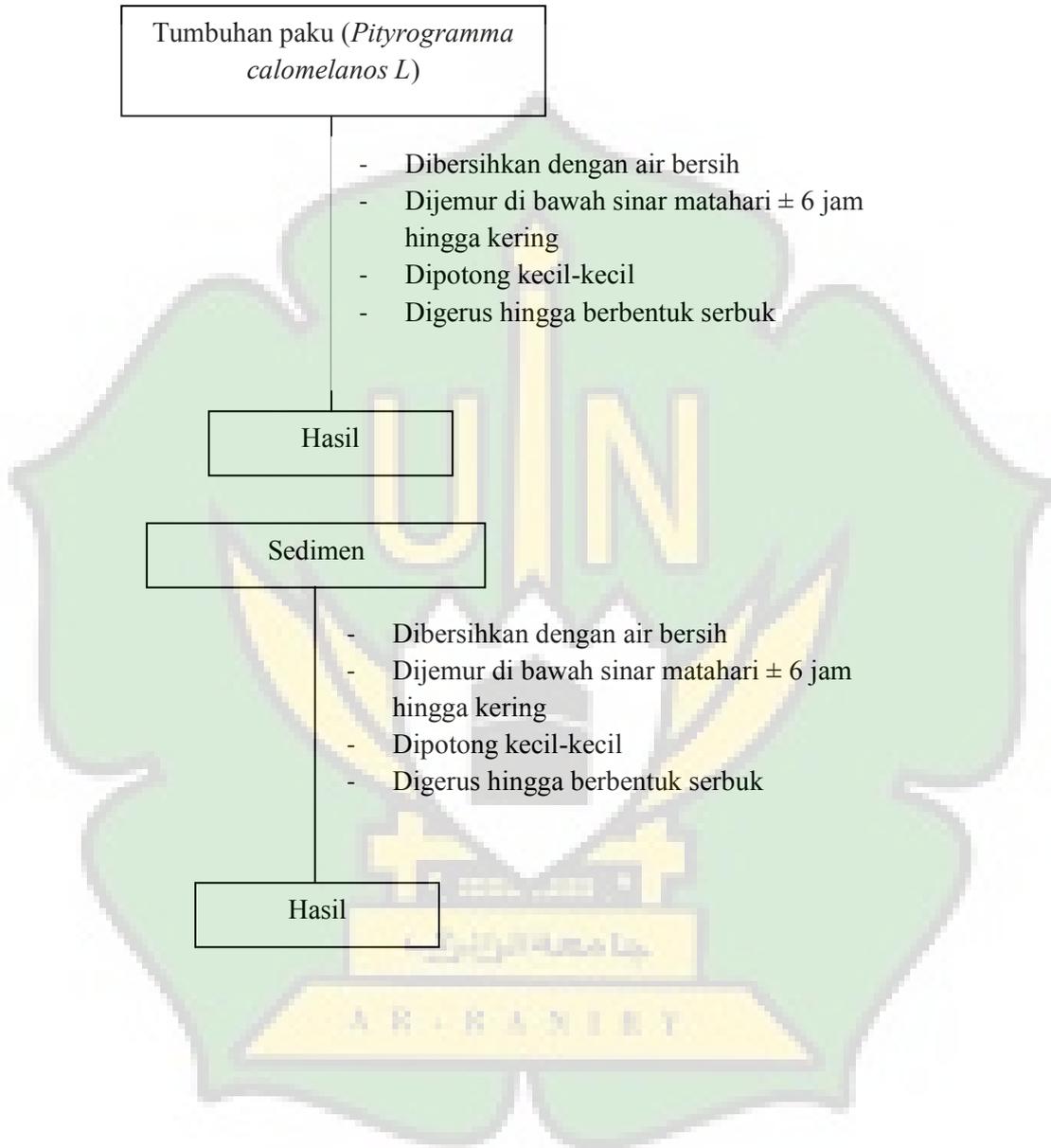
- Singh, K. P., Malik, A., Sinha, S., Singh, V. K., dan Murthy, R. C. (2005). Estimation Of Source Of Heavy Metal Contamination In Sediments Of Gomti River (India) Using Principal Component Analysis. *Water, Air and Soil Pollution*. 166. 321-341.
- Sitorus, D. O. (2014). Peningkatan Potensi Campuran Serat Sabut Kelapa Dan Serbuk Kayu Gergaji Teraktivitas H₂SO₄ Sebagai Media Adsorben Zat Warna Terhadap Limbah Kain Songket. *Laporan Akhir*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Sugiarti, A. (2017). Identifikasi Jenis Paku-pakuan (*Pityrogramma calomelanos*) Di Kawasan Cagar Alam Pagerwunung Darupono Kabupaten Kendal Sebagai Media Pembelajaran Sistematis Tumbuhan Berupa Herbarium. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Sugiyanto, R. A. N., Yona, D., dan Kasitowati, R. D. (2016). Analisis Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Lamun *Enhalus acoroides* Sebagai Agen Fitoremediasi Di Pantai Paciran, Lamongan. *Seminar Nasional Perikanan Dan Kelautan VI*. Universitas Brawijaya Malang.
- Sulistiana, S. (2015). Kemampuan Penyerapan Timbal (Pb) Pada Beberapa Kultivar Tanaman Puring (*Codiaeum Variegatum*). *Jurnal Matematika Sains Dan Teknologi*, 16(1), 10-17.
- Sumampouw, O. J., dan Risjani, Y. (2018). *Indikator Pencemaran Lingkungan*. Deepublish : Yogyakarta.
- Sumarjono, E., Aryanto, R., Purwiyono, T. T., dan Subandrio. (2020). Topografi sebagai Faktor Pengontrol Terhadap Penyebaran Merkuri Limbah Pengolahan Bijih Emas dengan Metode Amalgamasi pada Sedimen Sungai. *Prosiding Seminar Nasional Pakar Ke 3*. Institut Nasional Yogyakarta: 1.3.1-1.3.6.
- Suprihatin, I. E., Manurung, M., dan Mayangsari, D. (2014). Logam Kromium (Cr) dan Seng (Zn) Dalam Akar, Batang Dan Daun Tumbuhan Mangrove *Rhizophora apiculata* Di Muara Sungai Bandung. *Jurnal Kimia*, 8(2), 178–182. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Supriyantini dan Soenardjo, N. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Akar dan Buah Mangrove *Avicennia marina* Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*. 18(2). 98-106.

- Syafruddin. (2019). The Impact Of Longer Working To Mercury Level (Hg) In Blood Of Those Traditional Gold Miners At Desa Panton Luas Kabupaten Aceh Selatan. *Buletin Farmatera*, 4(3), 140–150.
- Taftazani, A. (2007). *Distribusi Konsentrasi Logam Berat Hg Dan Cr Pada Sampel Lingkungan Perairan Surabaya*. Yogyakarta: Batam.
- Tjitrosoepomo, G. 2009. *Taksonomi Umum (Dasar-dasar Taksonomi Tumbuhan)*. Yogyakarta : UGM Press.
- Triandy, H., Liong, S., dan Hala, Y. (2016). *Fitoakumulasi Fe Dan Cu Dalam Tumbuhan Bakau Rhizophora mucronata Di Sungai Tallo Makassar*.
- Turrahmi, A. (2019). Kebijakan Pemerintah Terhadap Eksplorasi Pertambangan Secara Individual Dalam Perspektif Hukum Islam (Studi Kasus Eksplorasi Pertambangan Emas Di Kawasan Panton Luas Kabupaten Aceh Selatan). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Umacina, M., Liestianty, D., dan Muliadi. (2014). Studi Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga Menggunakan Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) merill) Dengan Penambahan Arang (Charcoal). *Skripsi*. Universitas Khairun.
- Undang-Undang Republik Indonesia (UURI), No. 4. (2009). *Pertambangan Mineral Dan Batubara*.
- Underwood, A. L., dan Day, R.A. (1998). *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi Keenam. Terjemahan H. Wibi & L. Simarmata. (2002). Jakarta : Erlangga.
- Wulandari, E. A. R., dan Sukesi. (2013). Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd dan Cu dalam Nagget Ayam Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 2(3). 15-17.
- Yulianto, T., dan Muchsin, A. (2011). Komparasi Hasil Analisis Komposisi Kimia Di Dalam Paduan U-Zr-Nb Dengan Menggunakan Teknik Comparison Of Results Analysis Of Chemical Composition Of Alloys Inside. *Urania*, 17(3), 152–159

LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja

1.1. Preparasi Sampel



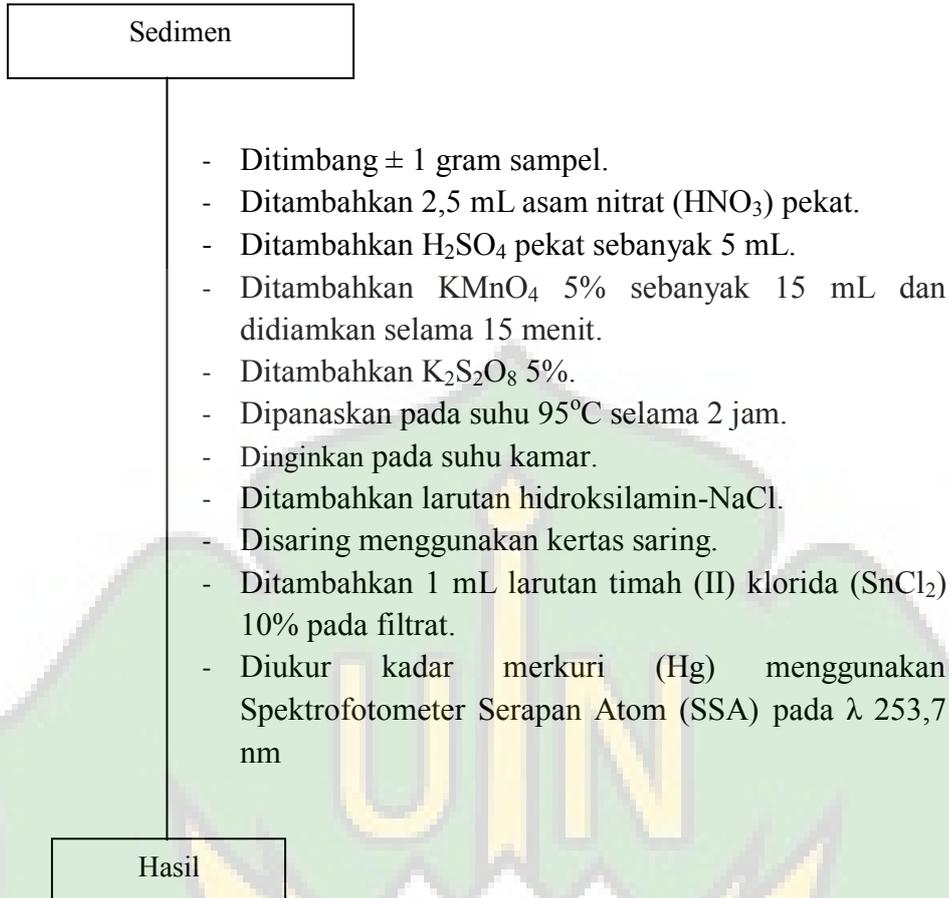
1.2. Analisis Sampel Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L*)

Tumbuhan paku (*Pityrogramma calomelanos L*)

- Ditimbang ± 1 gram sampel.
- Ditambahkan 2,5 mL asam nitrat (HNO_3) pekat.
- Ditambahkan H_2SO_4 pekat sebanyak 5 mL.
- Ditambahkan KMnO_4 5% sebanyak 15 mL dan didiamkan selama 15 menit.
- Ditambahkan $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 5%.
- Dipanaskan pada suhu 95°C selama 2 jam.
- Dinginkan pada suhu kamar.
- Ditambahkan larutan hidrosilamin- NaCl .
- Disaring menggunakan kertas saring.
- Ditambahkan 1 mL larutan timah (II) klorida (SnCl_2) 10% pada filtrat.
- Diukur kadar merkuri (Hg) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada λ 253,7 nm.

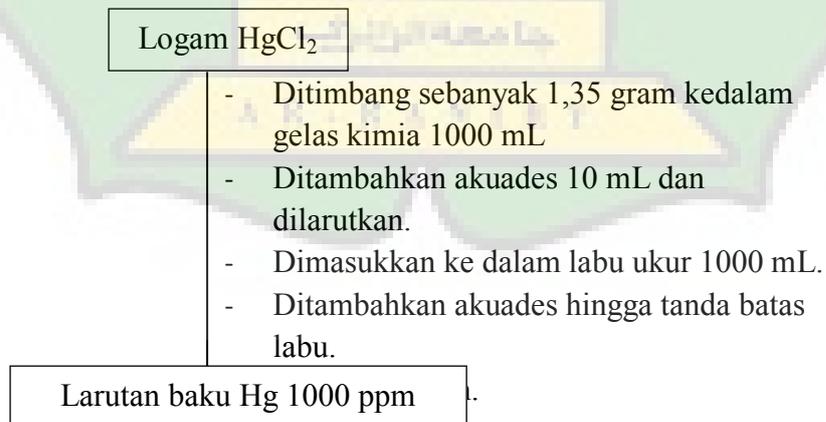
Hasil

1.3. Analisis Sampel Sedimen



1.4. Larutan Standar Merkuri

1.4.1. Pembuatan Larutan Standar Hg 1000 ppm



1.4.2. Pembuatan Larutan Standar Hg 100 ppm

Larutan Baku Hg 1000 ppm

- Dipipet sebanyak 10 mL
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Diencerkan dengan akuades sampai tanda batas labu ukur.

Larutan Baku 100 ppm

1.4.3. Pembuatan Larutan Standar Hg 4 ppm

Larutan Baku Hg 4 ppm

- Dipipet sebanyak 4 mL
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Diencerkan dengan akuades sampai tanda batas labu ukur.

Larutan Baku Hg 4 ppm

1.4.4. Pembuatan Larutan Standar Hg 8 ppm

Larutan Baku Hg 8 ppm

- Dipipet sebanyak 8 mL
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Diencerkan dengan akuades sampai tanda batas labu ukur.

Larutan Baku Hg 8 ppm

1.4.5. Pembuatan Larutan Standar Hg 12 ppm

Larutan Baku Hg 12 ppm

- Dipipet sebanyak 12 mL
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Diencerkan dengan akuades sampai tanda batas labu ukur.

Larutan Baku Hg 12 ppm

1.4.6. Pembuatan Larutan Standar Hg 16 ppm

Larutan Baku Hg 16 ppm

- Dipipet sebanyak 16 mL
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Diencerkan dengan akuades sampai tanda batas labu ukur.

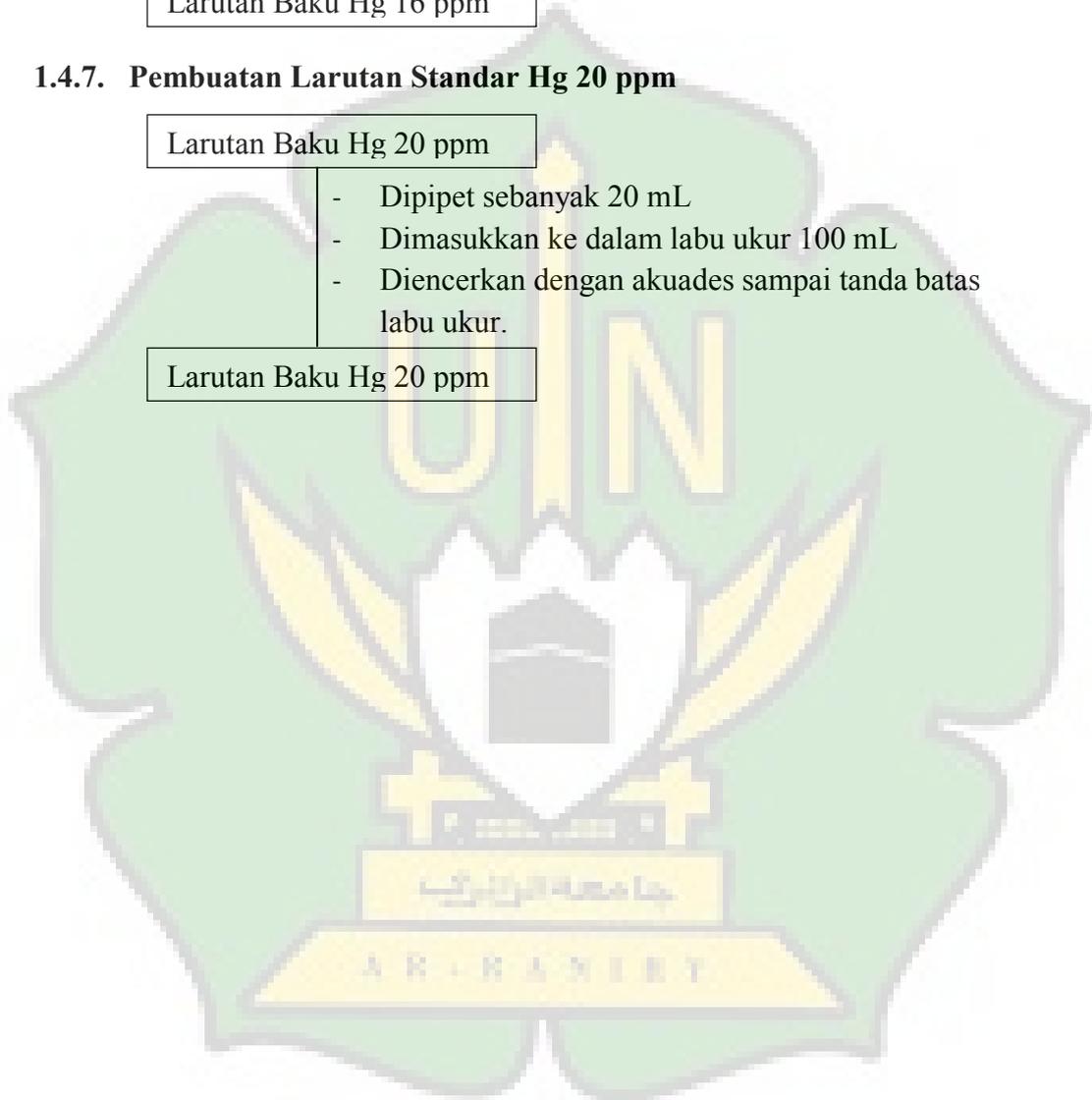
Larutan Baku Hg 16 ppm

1.4.7. Pembuatan Larutan Standar Hg 20 ppm

Larutan Baku Hg 20 ppm

- Dipipet sebanyak 20 mL
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- Diencerkan dengan akuades sampai tanda batas labu ukur.

Larutan Baku Hg 20 ppm



Lampiran 2 : Pembuatan Larutan

2.1. Larutan Standar Merkuri (Hg)

2.1.1. Pembuatan Larutan Standar Merkuri (Hg)

$$\text{Gram} = \frac{BM \text{ HgCl}_2}{BA \text{ Hg}} \times 1 \text{ gram}$$

$$\text{Gram} = \frac{271,52}{200,6} \times 1 \text{ gram}$$

$$\text{Gram} = 1,35 \text{ gram}$$

Larutan baku induk dibuat dengan cara menimbang sebanyak 1,35 gram HgCl_2 , kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 1000 mL dan dihomogenkan.

2.1.2. Pembuatan Larutan induk 100 ppm

Larutan Hg 100 ppm dibuat dengan cara memipet 10 mL dari larutan baku induk 1000 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 100 mL.

Larutan 1000 ppm menjadi 100 ppm dalam labu ukur 100 mL

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

2.1.3. Pembuatan Larutan induk 4 ppm

Larutan Hg 10 ppm dibuat dengan cara memipet 4 mL dari larutan baku induk 100 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 100 mL.

Larutan 100 ppm menjadi 4 ppm dalam labu ukur 100 mL

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

2.1.4. Pembuatan Larutan induk 8 ppm

Larutan Hg 8 ppm dibuat dengan cara memipet 8 mL dari larutan baku induk 100 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 100 mL.

Larutan 100 ppm menjadi 8 ppm dalam labu ukur 100 mL

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 8 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 8 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

2.1.5. Pembuatan Larutan induk 12 ppm

Larutan Hg 12 ppm dibuat dengan cara memipet 12 mL dari larutan baku induk 100 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 100 mL.

Larutan 100 ppm menjadi 12 ppm dalam labu ukur 100 mL

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 12 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 12 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 12 \text{ mL}$$

2.1.6. Pembuatan Larutan induk 16 ppm

Larutan Hg 16 ppm dibuat dengan cara memipet 16 mL dari larutan baku induk 100 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 100 mL.

Larutan 100 ppm menjadi 16 ppm dalam labu ukur 100 mL

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 16 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 16 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 16 \text{ mL}$$

2.1.7. Pembuatan Larutan induk 20 ppm

Larutan Hg 20 ppm dibuat dengan cara memipet 20 mL dari larutan baku induk 100 ppm, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dengan akuades hingga 100 mL.

Larutan 100 ppm menjadi 20 ppm dalam labu ukur 100 mL

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

2.2. Larutan Timah (II) Klorida (SnCl_2) 10 %

$$\% \text{ Zat terlarut} = \frac{\text{berat zat terlarut}}{\text{berat air} + \text{berat zat terlarut}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Zat terlarut} = \frac{5 \text{ gram}}{45 \text{ gram} + 5 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Zat terlarut} = 0,1 \text{ gram} \times 100\%$$

$$\% \text{ Zat terlarut} = 10 \%$$

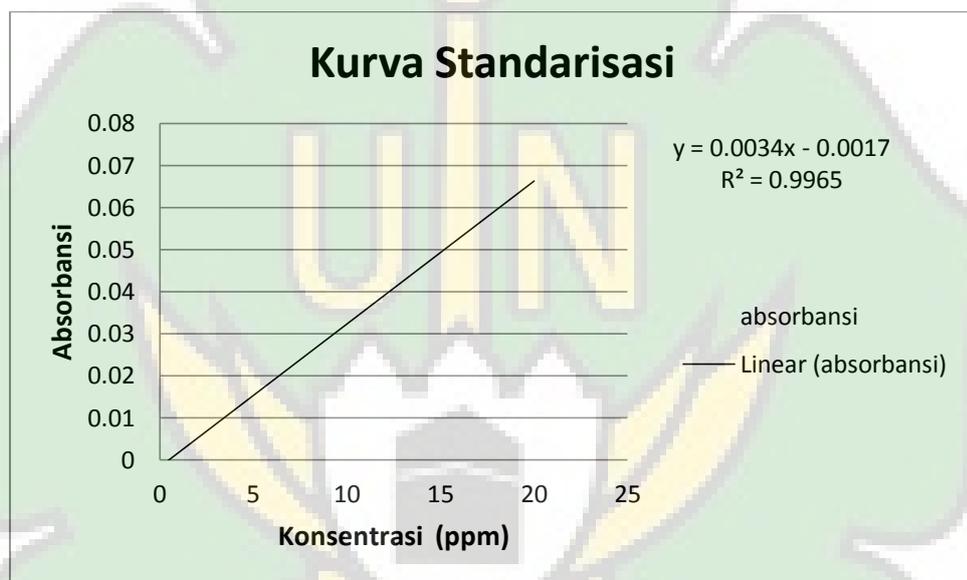
Larutan timah (II) klorida 10 % dibuat dengan cara menimbang 5 gram SnCl_2 kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia. Setelah larut dimasukkan kedalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas labu serta dihomogenkan.

Lampiran 3 : Pembuatan Kurva Kalibrasi Logam Hg

3.1. Hasil Pengukuran Standar Kurva Kalibrasi Logam Hg

No.	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1.	0	0
2.	4	0,0114
3.	8	0,025
4.	12	0,0372
5.	16	0,0522
6.	20	0,0683

3.2. Grafik Kurva Kalibrasi Larutan Standar Logam Hg



3.3. Analisis Data

Persamaan Garis Linier.

$$y = a + bx$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{6 (2,8932) - (60)(0,1941)}{6 (880)^2 - (60)^2}$$

$$b = \frac{17,3592 - 11,646}{5.280 - 3.600}$$

$$b = 0,0034$$

$$a = \frac{\sum y - b (\sum x)}{n}$$

$$a = \frac{0,1941 - 0,0034 (60)}{6}$$

$$a = -0,0017$$

Jadi, persamaan linier yang dihasilkan adalah

$$y = a + bx$$

$$y = (-0,0017) + 0,0034x$$

$$y = 0,0034x - 0,0017$$

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{((n \sum x^2) - (\sum x)^2)((n \sum y^2) - (\sum y)^2)}}$$

$$R = \frac{6 (2,8932) - (60)(0,1941)}{\sqrt{(6(880) - (60)^2)(6(0,0095) - (0,1941)^2)}}$$

$$R = \frac{17,3595 - 11,646}{\sqrt{(1.680)(0,0193)}}$$

$$R = \frac{5,7132}{\sqrt{32,424}}$$

$$R = \frac{5,7132}{5,69}$$

$$R = 1,00$$

Lampiran 4 : Foto Dokumentasi Penelitian

1. Gambar Alat Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Merek SHIMADZUU AA 7000



2. Gambar Sampel Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos*)

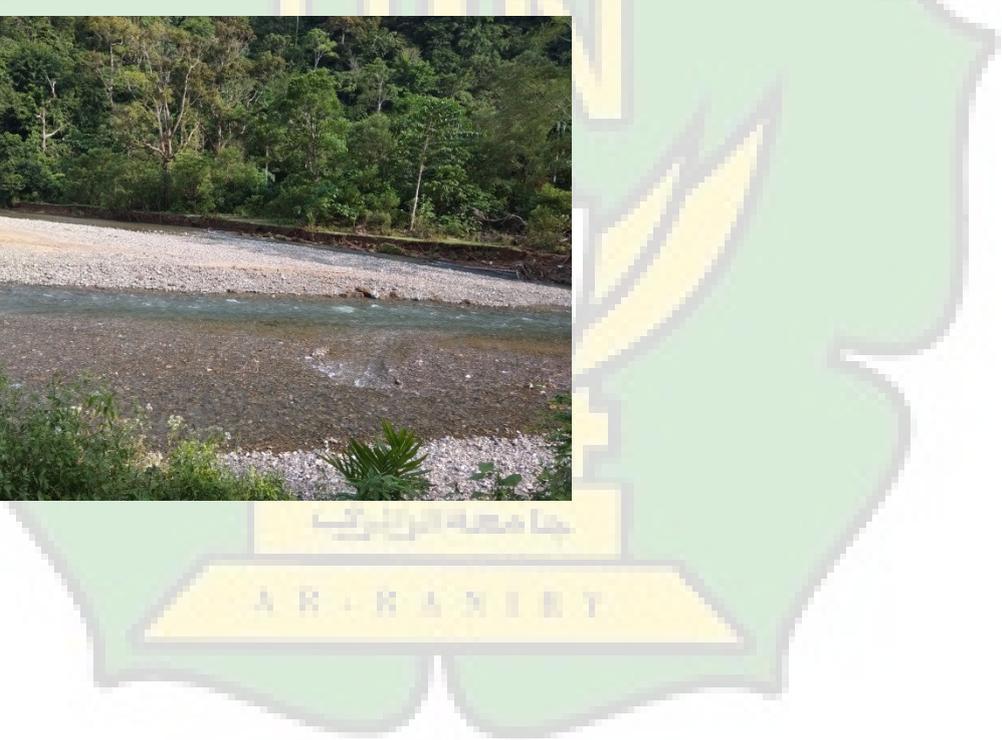


3. Gambar Sampel Sedimen



4. Gambar Lokasi Sampling





Lampiran 5 : Identifikasi Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calometanos L*)



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN BIOLOGI

Jalan Syech Abdurrauf Nomor 3, Darussalam, Banda Aceh 23111, Gedung F Lt. 2

Telepon: (0651) 7428212, Faksimile: (0651) 7552291

Laman: www.biologi.unsyiah.ac.id/mbio, Surel: mbio.pps@unsyiah.ac.id

Nomor : B/68/UN11.1.8.4/TA.00.01/2020

4 Februari 2020

Lampiran : -

Hal : *Identifikasi Sampel Herbarium*

Yth Sdr. **Ade Andriani**
Mahasiswa UIN Ar-Raniry
Fakultas Sain & Teknologi
Program Studi Kimia
Darussalam - Banda Aceh

Bersama ini kami sampaikan bahwa telah dilakukan identifikasi tumbuhan **paku** dengan klasifikasi taksonomi sebagai berikut :

Regnum/Kingdom	: Plantae
Sub Regnum/Sub Kingdom	: Tracheobionta
Divisio/Division	: Pteridophyta
Classis/Class	: Filicopsida
Sub Classis/Sub Class	: Polypoditae
Ordo/Order	: Polypodiales
Familia/Family	: Pteridaceae
Genus/Genus	: <i>Pityrogramma</i> Link.
Species/Species	: <i>Pityrogramma calometanos</i> (L) Link..

Staf Pengajar yang mengidentifikasi: **Dr. Saida Rasnovi, S.Si., M.Si**
(NIP 197111131997022002)

Demikian hasil identifikasi ini dibuat untuk dapat digunakan sesuai keperluan.



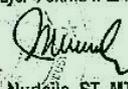
Sekretaris Jurusan,

Saida Rasnovi, S.Si., M.Si

NIP 197111131997022002

Libre-iden paku

Lampiran 6 : Data Pengukuran Konsentrasi Logam Hg pada Tumbuhan Paku (*Pityrogramma calomelanos L.*)

 Kementerian Perindustrian REPUBLIK INDONESIA	BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI LABORATORIUM PENGUJI BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH (LABBA) Jln. Cut Nyak Djaen No. 377 Lamsunon Timur Banda Aceh 23220 Telp. (0615) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6502642 E-mail: bpi@kpi.go.id Website: http://kpi.go.id/indonesia/labba/indonesia		 KAN Kantor Nasional	
	LAPORAN HASIL UJI <i>Report of Analysis</i>			
Tanggal Penerbitan : 6 Maret 2020 Date of Issue		Nomor Laporan : 293/LHU/LABBA/Baristand-Aceh/3/2020 Report Number		
Kepada : Ade Andriani To : UIN AR-Raniry di - Banda Aceh		Nomor Analisis : KIM - 20.157 s.d 20.161 Analysis Number		
Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa : The undersigned certifies that examination				
Dari Contoh : Tumbuhan Paku Of the Sample (s)		Nomor BAPC : 68/NSD/KIM/2/2020 BAPC Number		
Keterangan contoh : Diantar Identify Sample		Untuk Analisis : Sesuai Parameter Uji For Analysis		
Kode Contoh : Titik 1 s/d 5 Code Sample		Diambil dari : - Taken from		
Tanggal Sampling : - Date of Sampling		Tanggal Penerimaan : 20 February 2020 Received On		
Tanggal Analisis : 20 February 2020 Date of Analysis		Hasil : Results		
PARAMETER UJI :				
Merkuri (Hg)				
NO	KODE CONTOH	SATUAN	METODE UJI	HASIL UJI
1	Titik 1	mg/kg	AAS	0,2334
2	Titik 2	mg/kg	AAS	0,1941
3	Titik 3	mg/kg	AAS	0,1215
4	Titik 4	mg/kg	AAS	0,0230
5	Titik 5	mg/kg	AAS	0,0114
#) Bawah Limit Deteksi				
BARISTAND INDUSTRI BANDA ACEH Manajer Teknis II LABBA,  Nurdaila, ST, MT NIP.19621108 198303 2 002				
F. 5.10.01.02		Terbit/Revisi : 3/4		

* Data Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
 * Dilarang menggandakan tanpa izin tertulis dari Baristand Industri Banda Aceh

Lampiran 8 : SNI 6989.78 – 2011

SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 6989.78: 2011



3.5.4 Pembuatan larutan kerja raksa

Buat deret larutan kerja dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 (tiga) kadar yang berbeda dalam labu ukur 100,0 mL secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran. Larutan kerja ini dibuat setiap akan digunakan.

3.6 Pembuatan kurva kalibrasi dan pengukuran contoh uji

3.6.1 Preparasi larutan kerja raksa dan pembuatan kurva kalibrasi

- a) masukkan 100 mL blanko dan 3 larutan standar kerja ke dalam masing-masing *Erlenmeyer* 250 mL;
- b) tambahkan 5 mL H_2SO_4 pekat dan 2,5 mL HNO_3 pekat kepada masing-masing *Erlenmeyer*;
- c) tambahkan 15 mL larutan KMnO_4 dan tunggu sampai 15 menit (bila warna ungu hilang tambahkan lagi KMnO_4 sampai warna ungu tidak hilang);
- d) tambahkan 8 mL $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dan panaskan dalam penangas air selama 2 jam pada suhu 95 °C;
- e) dinginkan sampai suhu kamar;
- f) tambahkan secukupnya larutan hidrosilamin-NaCl untuk mereduksi kelebihan KMnO_4 ;
- g) tambahkan 5 mL SnCl_2 , dan segera diukur serapannya menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom uap dingin atau *Mercury Analyzer* yang sudah dioptimalkan sesuai petunjuk alat;

CATATAN Penambahan SnCl_2 akan menghasilkan atom Hg^0 yang mudah menguap sehingga harus segera ditutup

- h) buat kurva kalibrasi dan tentukan persamaan garis lurusnya;
- i) jika linearitas kurva kalibrasi (r) lebih kecil dari 0,995 periksa kondisi alat dan ulangi langkah 3.6.1 a) sampai h). Hingga di dapat nilai r lebih besar atau sama dengan 0,995.

3.6.2 Pengukuran contoh uji

Uji kadar raksa (Hg) dengan tahapan sebagai berikut:

- a) masukkan 100 mL contoh uji atau contoh uji yang sudah diencerkan dan berada dalam rentang pengukuran ke dalam *Erlenmeyer* 250 mL;
- b) lakukan langkah 3.6.1.b) sampai g).

CATATAN Penanganan limbah merkuri baik dari hasil pengukuran maupun limbah dari sisa standar larutan kerja yang tidak terpakai dapat dilihat pada Lampiran B (informatif).