

EFEKTIVITAS AGEN FITOREMEDIATOR *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L DALAM MENURUNKAN KADAR Cadmium (Cd) PADA LIMBAH CAIR BATIK CAP KEBUMEN

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Biologi



ATHIYYATUN
(2108016054)

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

EFEKTIVITAS AGEN FITOREMEDIATOR *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L DALAM MENURUNKAN KADAR Cadmium (Cd) PADA LIMBAH CAIR BATIK CAP KEBUMEN

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Biologi



ATHIYYATUN
(2108016054)

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Athiyyatun

NIM : 2108016054

Jurusan : Biologi

Menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul :

**EFEKTIVITAS AGEN FITOREMEDIATOR
Hydrilla verticillata (L. f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L
DALAM MENURUNKAN KADAR Cadmium (Cd) PADA
LIMBAH CAIR BATIK CAP KEBUMEN**

Secara keseluruhan merupakan hasil penelitian/karya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 23 Mei 2025

Pembuat pernyataan



Athiyyatun

NIM: 2108016054

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang 50185
Telp. 024-7601295 Fax. 761538

LEMBAR PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Efektivitas Agen Fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam Menurunkan Kadar Cadmium (Cd) Pada Limbah Cair Batik Cap Kebumen

Nama : Athiyyatun

NIM : 2108016054

Jurusan : Biologi

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu Biologi.

Semarang, 16 Juni 2025

DEWAN PENGUJI



NOTA DINAS

NOTA DINAS

Semarang, 23 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan :
Bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : **EFEKTIVITAS AGEN FITOREMEDIATOR
Hydrilla verticillata (L. f.) Royle dan
Pistia stratiotes L DALAM MENURUNKAN
KADAR Cadmium (Cd) PADA LIMBAH CAIR
BATIK CAP KEBUMEN**

Nama : Athiyyatun
NIM : 2108016054
Jurusian : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongountuk diujikan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing I


Eko Purnomo, M. Si.
NIP. 198604232019031006

NOTA DINAS

NOTA DINAS

Semarang, 23 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan
Bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : EFEKTIVITAS AGEN FITOREMEDIATOR
Hydrilla verticillata (L. f.) Royle dan
Pistia stratiotes L DALAM MENURUNKAN
KADAR Cadmium (Cd) PADA LIMBAH CAIR
BATIK CAP KEBUMEN

Nama : Athiyyatun
NIM : 2108016054
Jurusan : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
d diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN
Walisonsouk diujikan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing II



Chusnul Adib Achmad, M.Si.
NIP. 198712312019031018

ABSTRAK

Kabupaten Kebumen memiliki pengrajin batik yang meningkat setiap tahunnya. Efek dari peningkatan pengrajin batik yaitu limbah batik. Salah satu jenis batik yang memiliki limbah terbanyak yaitu batik cap. Limbah batik cap mengandung logam cadmium (Cd) yang menimbulkan bahaya jika terakumulasi pada lingkungan. Fitoremediasi merupakan metode yang dapat mendegradasi kandungan cadmium (Cd) pada limbah batik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam menurunkan kadar cadmium (Cd) pada limbah batik cap. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 pengaruh yaitu jenis tumbuhan dan waktu pemapara. Hasil yang didapatkan agen fitoremediator memiliki efektivitas selama 12 hari perlakuan sebagai berikut pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle sebesar 11%, *Pistia stratiotes* L sebesar 17,29%, dan kombinasinya sebesar 51,56%.

Kata Kunci : Batik Cap Kebumen, Cadmium (Cd), Fitoremediasi, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Pistia stratiotes* L.

ABSTRACT

Kebumen Regency has batik craftsmen that increase every year. The effect of the increase in batik craftsmen is batik waste. One type of batik that has the most waste is stamped batik. Stamped batik waste contains cadmium (Cd) metal which is dangerous if accumulated in the environment. Phytoremediation is a method that can degrade cadmium (Cd) content in batik waste. This study aims to analyze the effectiveness of *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle and *Pistia stratiotes* L in reducing cadmium (Cd) levels in stamped batik waste. This study used a Completely Randomized Design (CRD) with 2 influences, namely plant type and exposure time. The results obtained by the phytoremediator agent have an effectiveness for 12 days of treatment as follows on *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle by 11%, *Pistia stratiotes* L by 17.29%, and the combination by 51.56%.

Keywords: Batik Cap Kebumen, Cadmium (Cd), Phytoremediation, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Pistia stratiotes* L.

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I. Nomor: 158/1987 dan Nomor: 0543b/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sandang [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	t}
ب	B	ظ	z}
ت	T	ع	'
ث	s\	غ	g
ج	j	ف	f
ح	h}	ق	q
خ	kh	ك	k
د	D	ل	l
ذ	z\	م	m
ر	R	ن	n
ز	Z	و	w
س	S	ه	'
ش	sy	ء	y
ص	s}	ي	
ض	d}		

Bacaan Madd :

- a> = a panjang
i> = i panjang
u> = u panjang

Bacaan Diftong :

- au = أؤ
ai = أئ
iv = لئ

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang diajukan sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Biologi.

Skripsi ini penulis persembahkan untuk kedua orang tua penulis yakni, Bapak Hasyim dan Ibu Marsiyah kedua orang tua yang selalu mendukung pendidikan anaknya untuk mendapatkan gelar pendidikan Strata 1. Mereka yang telah memberikan penulis dukungan materi, restu, motivasi, semangat dan juga doa kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 di program studi Biologi UIN Walisongo Semarang.

Selama penyelesaian skripsi ini penulis menyadari skripsi ini tidak dapat berjalan dengan baik tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, oleh karenanya pada kesempatan ini, penulis hendak mengucapkan terimakasih banyak kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Nizar, M.Ag. selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Dian Ayuningtyas, M.Biotech. Selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang.
4. Bapak Eko Purnomo, M.Si. serta Bapak Chusnul Adib Achmad, M.Si. sebagai dosen pembimbing yang telah membantu membimbing serta memberi arahan penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.

5. Ibu Galih Khalifatunnisa, M.Si. selaku wali dosen yang memberikan arahan dan motivasi selama perkuliahan berlangsung.
6. Bapak Sripur Wahyudi, S.Si. selaku analis Laboratorium Lingkungan Kebumen yang membantu penulis dalam penelitian berlangsung.
7. Kedua orang tua tersayang, Bapak Hasyim dan Ibu Marsiyah yang telah mencerahkan do'a serta dukungan lahir dan batin kepada penulis sehingga studi ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Keluarga besar Bani Madyakup yang selalu memberikan dukungan mental kepada penulis dalam penulisan skripsi ini berlangsung.
9. Nur Fadilatun Nikmah, Koniatus Sa'diyah, Avi Nur Latifah, Fajriyati Khoriyah, Dina wahyu, Rafly Ageng Saputro, Bahrurohman, dan Noval yang telah suka rela menemani, membantu dan memberikan hiburan saat penulisan skripsi berlangsung.
10. Seluruh keluarga besar Pondok Pesantren lifeskill Daarunaajah, yang telah memberikan warna dalam kehidupan penulis.
11. Seluruh pihak yang bersedia memberikan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis sampaikan terimakasih dan memanjatkan doa semoga perlakuan baik yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal ibadah yang diridhoi Allah SWT. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna serta perlu ada kritik dan saran untuk memperbaiki kekurangan dalam penyelesaiannya.

Semarang, 23 Mei 2025

Athiyyatun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS	iv
NOTA DINAS	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TRANSLITERASI ARAB-LATIN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	10
C. Tujuan Penelitian.....	10
D. Manfaat Penelitian	11
1. Secara teoritis	11
2. Secara praktis.....	11
BAB II LANDASAN PUSTAKA	13
A. Kajian Teori.....	13

1. Batik Kebumen	13
2. Limbah Cair.....	14
3. Limbah Cair Batik Cap	17
4. Karakteristik Limbah Cair Batik Cap.....	19
5. Logam Berat Cd	23
6. Fitoremediasi	25
7. Agen fitoremediator	32
a. <i>Hydrilla Verticillata</i> (L.f.) Royle	32
b. <i>Pistia stratiotes</i> L.....	36
B. Kajian ayat Al – Qur'an	39
C. Kajian Penelitian yang Relevan.....	42
D. Alur Kerangka Berpikir	56
E. Rumusan Hipotesis	57
BAB III METODE PENELITIAN	58
A. Jenis Penelitian	58
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	59
C. Alat dan Bahan.....	60
1. Alat.....	60
2. Bahan.....	60
D. Rancangan Penelitian	61
E. Variabel Penelitian.....	62
F. Metode	62
1. Pengambilan limbah cair batik dan tumbuhan	62
2. Aklimatisasi.....	63

3. Persiapan Pembuatan Larutan standar Cd.....	63
4. Proses Fitoremediasi dan Pemaparan Sampel.....	66
5. Destruksi	66
6. Pengamatan Morfologi	68
7. Pengujian <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>	68
8. Analisis Data dan Pengolahan Data.....	69
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	73
A. Deskripsi Hasil.....	73
1. Uji Pendahuluan Kandungan Logam Limbah.....	73
2. Hasil Analisis Kandungan Cd	75
3. Pemaparan Tumbuhan Terhadap limbah batik.....	77
B. Pembahasan.....	89
1. Analisis Efektivitas Agen Fitoremediator	89
2. Pengamatan Kondisi Fisik Agen Fitoremediator....	102
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	131
A. Simpulan.....	131
B. Saran	133
DAFTAR PUSTAKA	134

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Tekstil	18
Tabel 2.2 Kajian Penelitian yang relevan	42
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian.....	61
Tabel 4.1 Hasil Uji Awal Sampel Limbah Batik Cap Kebumen (UMKM Zahra Batik)	74
Tabel 4.2 Kandungan Logam Cadmium (Cd) pada dengan Agen Fitoremediator <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle, <i>Pistia stratiotes</i> L, terhadap Terhadap Limbah Cair Batik Cap Kebumen	75
Tabel 4.3 Pengamatan Warna daun agen fitoremediator perlakuan limbah	79
Tabel 4.4 Pengamatan Warna daun agen fitoremediator perlakuan kontrol	81
Tabel 4.5 Pengamatan Warna akar agen fitoremediator perlakuan limbah	83
Tabel 4.6 Pengamatan Warna akar agen fitoremediator perlakuan kontrol	85
Tabel 4.7 Pengamatan berat basah agen fitoremediator perlakuan limbah	87
Tabel 4.8 Pengamatan berat basah agen fitoremediator perlakuan kontrol	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pembuatan batik dan sumber limbah....	20
Gambar 2.2 Skema target logam berat.....	25
Gambar 2.3 Mekanisme Fitoremediasi.....	32
Gambar 2.4 <i>Hydrilla vertiacillata</i> (L.f.) Royale.....	33
Gambar 2.5 <i>Pistia Stratiotes L.</i>	37
Gambar 3.1 Peta lokasi industri batik.....	59
Gambar 3.2 Lokasi pengambilan sampel limbah cair batik.	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan	
Penelitia.....	Error!
Bookmark not defined.	
Lampiran 2. Diagram	
Alir.....	Error!
Bookmark not defined.	
Lampiran 3. Dokumentasi	
Kegiatan.....	Error!
Bookmark not defined.	
Lampiran 4. Baku Mutu air Limbah (PEMEN LH No 5 Tahun 2014).....	Error!
Bookmark not defined.	
Lampiran 5. Lembar Hasil Uji logam cadmium (Cd).....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 6. Hasil uji	
SPSS.....	Error!
Bookmark not defined.	

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Batik dapat diartikan sebagai teknik mencorak pada sebuah kain yang dibuat dengan berbagai motif. Kurniyati (2018) menyatakan batik merupakan salah satu budaya serta bernilai ekonomi yang di perdagangkan sampai pantai utara jawa. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) menetapkan batik sebagai salah satu warisan budaya Indonesia yang layak untuk dimasukkan dalam *Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity* pada tanggal 2 Oktober 2009, generasi penerus bangsa diharapkan melestarikan dan mendukung pengrajin batik untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Hutuningrum, 2013).

Kristianingsih *et al.*, (2021) menyatakan terdapat beberapa kota penghasil batik yang terkenal di Indonesia yaitu Yogyakarta, Solo, dan Pekalongan. Beberapa daerah penghasil batik tersebut membawa pengaruh terhadap daerah di sekitarnya untuk ikut serta menghasilkan batik khas daerah, salah satu

daerah yang terpengaruh adalah Kabupaten Kebumen yang terletak di sebelah barat Yogyakarta (Wiji, 2021).

Khoerunnisa (2012) menyatakan dari hasil informasi pada *website* pemerintahan Kebumen dan observasi di daerah tersebut, diketahui pengrajin batik sudah dilakukan sejak lama dan bersifat turun temurun. Zaman 80-an memiliki kemampuan membatik diharuskan, disebabkan batik merupakan mata pencaharian yang ada pada saat itu, untuk kaum perempuan yang tidak melanjutkan pendidikannya ke jenjang menengah pertama, oleh karena itu batik dapat disebutkan meningkatkan kesejahteraan masyarakat dari segi finansial. Setelah batik dikenal di seluruh manca negara, jumlah peminat batik meningkat.

Hakim (2018) menyatakan peminat batik di Indonesia meningkat setiap tahunnya, dengan meningkatnya peminat batik di indonesia, jumlah perajin batik di Kebumen juga meningkat. Iriani *et al.*, (2022) menyatakan pada tahun 2020 tercatat 379 perajin batik dan meningkat pada tahun 2021 terdaftar sekitar 431 Perajin batik di Kabupaten Kebumen. Proses pembuatan batik menghasilkan sisa

yang tidak terpakai biasa disebut limbah batik. Limbah batik adalah sisa buangan berwujud cair maupun padatan dari proses pembuatan batik. Meningkatnya pengrajin batik berdampak meningkatnya limbah batik yang dihasilkan.

Industri batik di Kabupaten Kebumen bersentral di desa Gemeksekti, desa tersebut dijuluki sebagai "Kampoeng Batik". Industri batik di desa Gemeksekti berskala usaha mikro kecil dan menengah (UMKM). UMKM merupakan usaha dengan modal terbatas tetapi memiliki limbah dengan karakteristik yang sama dengan industri besar lainnya meskipun dalam jumlah yang sedikit, jika terakumulasi dengan lingkungan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Haniza *et al.*, (2022) menyatakan air limbah yang mengandung pewarna sintetis sulit terurai dan mengakibatkan pencemaran.

Berdasarkan hasil wawancara, UMKM yang memproduksi batik terbanyak yaitu UMKM Zahra Batik, Batik yang diproduksi berjumlah 2500 kain batik setiap bulannya. UMKM tersebut memproduksi batik cap dan printing. Berdasarkan hasil wawancara diduga batik cap menghasilkan limbah cair yang lebih banyak daripada batik *printing*. Hal ini berdasarkan

dari proses pembuatannya. Batik cap memiliki proses melekatkan lilin, pewarnaan, penguncian (*water glass*), pencucian pewarnaan, dan menghilangkan lilin (melorod). Batik *printing* memiliki proses pencetakan motif (menggunakan pewarna remazole) dan pencucian pewarnaan. Batik cap menghasilkan limbah cair berasal dari proses pewarnaan dan menghilangkan lilin (melorod), sedangkan batik printing menghasilkan limbah cair berasal dari pencucian pewarnaan. Selain berdasarkan prosesnya bahan yang digunakan dalam batik juga sebagai pertimbangan peneliti mengambil limbah batik cap sebagai sampel penelitian.

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan batik cap yaitu lilin batik (malam) mengandung bahan seperti damar mata kucing (getah pohon *Shorea Sp.*), gondorukem/*resina colophonium* (residu destilasi getah *pinus merkusii*), *kote* (lilin lebah), paraffin (hasil samping dari pengolahan minyak mentah), *microwax* (hasil proses penyulingan minyak bumi sejenis paraffin) *kendal* (lemak hewan), dan lilin bekas (residu dari proses pembatikan) (Atika, 2018). Selain lilin batik, proses pembuatan batik menambahkan zat pewarna, *water glass*, paraffin, dan lain sebagainya.

Sebagian bahan bahan tersebut tidak dapat terdegradasi secara alami.

Suharto *et al.*, (2013) menyatakan industri batik menggunakan air yang banyak dalam proses produksinya, mengakibatkan limbah cair yang diperoleh mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang digunakan dalam produksinya. Berdasarkan wawancara dengan pengrajin batik, batik cap menghasilkan limbah cair dari proses pewarnaan dan menghilangkan lilin (melorod). Proses pewarnaan batik cap menggunakan pewarna sintetis.

Apriyani (2018) menyatakan pewarna sintetis adalah pewarna buatan yang di fungsikan untuk mewarnai batik dengan bahan dasar buatan yaitu hidrokarbon, aromatik dan naftalena yang berasal dari batubara. Pewarna sintetis memiliki macam macam jenis seperti naphtol, indigosol, rapide, dan remazol (Annisa, 2018). Zat pewarna yang digunakan pada pembuatan batik cap menggunakan jenis remazol. Keunggulan pewarna remazol dari jenis pewarna lain yaitu lebih praktis karena dengan sekali proses pewarnaan menghasilkan berbagai warna yang diinginkan tanpa melalui proses tutup celup yang lama. UMKM batik di Kebumen belum memiliki IPAL

sehingga limbah dibuang ke selokan dan berakhir di sungai. Hannan *et al.*, (2024) menyatakan limbah batik menimbulkan masalah pencemaran yang serius jika langsung dibuang ke lingkungan.

Tuty dan Herni (2009) menyatakan pada limbah cair batik cap khas palembang memiliki kandungan logam berbahaya seperti Seng (Zn), Besi (Fe), Cadmium (Cd), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb). Pada penelitian ini dilakukan uji awal untuk mengetahui konsentrasi logam yang terkandung di dalam limbah batik cap Kebumen, kemudian disandingkan dengan baku mutu. Baku mutu air limbah yang digunakan pada penelitian ini merupakan baku mutu air limbah yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 (Lampiran 4).

Berdasarkan uji awal limbah batik cap Kebumen, logam cadmium (Cd) memiliki nilai mendekati baku mutu air limbah, nilainya sebesar 0,0443 mg/L, Sedangkan baku mutu sebesar 0,05 mg/L. Pandia & Purba (2017), menyatakan logam yang berada dibawah baku mutu berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan, terlebih lagi logam berat non esensial. Logam berat terbagi

menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial adalah logam yang diketahui manfaatnya untuk makhluk hidup dalam jumlah tertentu, contohnya yaitu Zn, Cu, Fe, Co, Mn dsb. Logam berat non esensial adalah logam yang belum diketahui manfaatnya untuk makhluk hidup, bahkan bersifat beracun, contohnya yaitu Hg, Cd, Pb, Cr, dsb. Sitanggang (2017) menyatakan limbah yang memiliki kandungan logam berat baik secara langsung dan tidak langsung dapat merusak lingkungan karena bersifat membutuhkan adanya pengolahan.

Romadhon (2017) menyatakan pengolahan limbah dapat digolongkan menjadi 3, yaitu secara kimia, fisika, dan biologis. Pengolahan secara biologis menggunakan tumbuhan air dan memiliki keunggulan yaitu ramah lingkungan dan mudah di aplikasikan. Metode pengolahan limbah tersebut disebut dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah sebuah metode untuk menurunkan atau memecahkan bahan bahan berbahaya bersifat organik maupun anorganik dari suatu limbah. Kelebihan menggunakan metode fitoremediasi yaitu biaya yang efektif karena menggunakan tumbuhan untuk memulihkan lingkungan yang tercemar polutan dan tersedia

banyak di alam (Prasetyo, 2021). Metode ini umumnya menggunakan tumbuhan yang bersifat hipertoleran dan hiperakumulator. Tumbuhan hipertoleran adalah tumbuhan yang dapat mentoleransi dan menyesuaikan diri pada sebuah lingkungan yang tercemar zat berbahaya. Tumbuhan hipertoleran memiliki kemampuan adaptasi yang dapat dilihat dari struktur morfologi, anatomi dan fisiologi. Selanjutnya tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat terutama organ daun. Jenis tumbuhan yang memiliki sifat hipertoleran dan hiperakumulator yaitu *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L.

Kemampuan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L sebagai fitoremediator pada limbah batik sudah diteliti potensinya. Seperti penelitian Lestari & Aminatun (2018) yang berjudul efektivitas variasi biomassa tumbuhan *Hydrilla verticillata* dalam fitoremediasi limbah batik. Hasil menunjukan biomassa 250 gram paling efektif dalam menurunkan nilai BOD sebesar 541,0 mg/l menjadi 24,5 mg/l dan COD 1546,0 mg/l menjadi 205,5 mg/l. Penelitian Jamil, *et al.* (2016) yang berjudul pengaruh

variasi lama waktu kontak dan jumlah tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes* L) terhadap penurunan kadar cadmium (Cd) limbah cair batik home industry "x" di Magelang. Hasil menunjukan *Pistia stratiotes* L dapat menurunkan logam cadmium paling efektif mencapai 64,09% sebesar 0,840 mg/l menjadi 0,164 mg/l, terjadi pada hari ke-8 dengan 8 tumbuhan *Pistia stratiotes* L.

Berdasarkan uraian tersebut peneliti bermaksud meneliti efektivitas kedua tumbuhan serta mengkombinasikan tumbuhan tersebut dalam menurunkan kadar logam cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap kebumen serta mengamati perubahan morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L. Penelitian ini berjudul efektivitas agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam menurunkan kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen?
2. Bagaimana morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L setelah fitoremediasi terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen?
3. Bagaimana efektivitas penyerapan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam menyerap cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen?

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh agen fitoremediator tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen.
2. Menganalisis perubahan morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam fitoremediasi terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen.

3. Menganalisis efektivitas kemampuan fitoremediasi antara *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam menyerap logam cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap Kebumen.

D. Manfaat Penelitian

1. Secara teoritis

Menjadi sebuah upaya dalam memperluas wawasan serta ilmu pengetahuan yang dapat dimanfaatkan sebagai informasi dan referensi bagi Mahasiswa, Dosen, Masyarakat ataupun peneliti lain mengenai fitoremediasi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dapat meremediasi logam Cd (Cadmium) pada limbah cair batik cap.

2. Secara praktis

- a. Bagi penulis, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai pembuktian hasil implementasi ilmu pengetahuan dalam bidang ekologi dan kimia yang telah dipelajari di UIN Walisongo Semarang.
- b. Bagi masyarakat, penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi terkait

fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap lingkungan terutama pada industri batik di daerah Kebumen dan memanfaatkan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam bidang ekologi dan lingkungan.

- c. Bagi kampus UIN Walisongo, dapat bermanfaat sebagai upaya kontribusi mahasiswa dalam pencapaian Visi & Misi Kampus menjadi Universitas Islam Riset Terdepan Berbasis Kesatuan Ilmu Pengetahuan.
- d. Bagi mahasiswa/mahasiswi dosen ataupun peneliti lain, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai salah satu sumber referensi penelitian berkelanjutan khususnya dalam bidang fitoremediasi.
- e. Bagi industri, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai keterbaruan metode pengolahan limbah.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Batik Kebumen

Wulandari (2011) menyatakan batik dinobatkan sebagai warisan budaya yang memiliki nilai seni tinggi sehingga menjadi identitas bangsa indonesia. Batik pertama kali diperkenalkan kepada dunia internasional oleh Presiden Soeharto pada saat konferensi PBB beliau memakai batik (Hamidin, 2010). Setiap tanggal 2 oktober diperingati sebagai hari batik, hal tersebut didasarkan pada tanggal 2 Oktober 2009 *United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organisation* (UNESCO) menetapkan batik sebagai warisan budaya indonesia (Prasetyo, 2010). Gareta (2019) menyatakan sejak batik diakui oleh dunia internasional nilai ekspor dari industri batik tahun 2019 mencapai 17,99 juta dolar AS. Batik diekspor ke beberapa negara seperti Jepang, Amerika Serikat, dan Eropa. Kota penghasil batik yang terkenal di indonesia yaitu Solo, Pekalongan dan Yogyakarta. Daerah penghasil batik tersebut, membawa pengaruh terhadap beberapa daerah di

sekitarnya untuk ikut serta menghasilkan batik khas daerahnya, salah satunya yaitu daerah Kebumen yang berada di sebelah barat Yogyakarta (Wiji, 2021). Iriani *et al.*, (2022) menyatakan tercatat 379 perajin batik pada tahun 2020 dan meningkat pada tahun 2021 terdaftar sekitar 431 perajin batik. Proses pembuatan batik menghasilkan sisa yang tidak terpakai biasa disebut limbah batik. Sembiring (2008) menyatakan limbah yang dihasilkan proses pembuatan batik memiliki wujud cair, padat dan gas. Hannan *et al.*, (2024) menyatakan limbah batik menimbulkan masalah pencemaran yang serius jika langsung dibuang ke lingkungan.

2. Limbah Cair

Octariana *et al.*, (2015), Limbah cair adalah gabungan/ campuran air dengan bahan pencemar yang terbawa oleh air yang berasal dari perkantoran, perumahan, perdagangan dan sumber industri. Limbah cair merupakan hasil buangan dari proses suatu kegiatan berwujud cair dan biasanya mengandung zat berbahaya bagi lingkungan. Lasut (2020) menyatakan limbah cair adalah limbah/residu pembuangan yang berwujud cair yang telah digunakan untuk

berbagai keperluan yang bersumber dari suatu tempat seperti permukiman, industri, instansi, domestik, limpasan perkotaan, instansi, bisnis, restoran, sekolah, rumah sakit, peternakan dan lainnya. Indasah (2017) menyatakan secara garis besar air limbah diklasifikasikan menjadi 3 kelompok yaitu:

a. Air limbah industri

Limbah berasal dari sisa hasil industri berwujud cair yang sudah tidak dibutuhkan lagi dan layak dibuang. Biasanya limbah cair industri mengandung zat-zat berbahaya sisa hasil produksi industri seperti logam berat, zat pewarna, amoniak, lemak, garam, zat pelarut dan lain sebagainya.

b. Air limbah kotapaja

Limbah berasal dari suatu daerah perkotaan, yang berasal dari sisa hasil kegiatan di restoran, perdagangan, rumah sakit, tempat ibadah, sekolah serta tempat yang biasa berada di kota yang berwujud cair

serta mengandung zat berbahaya yang harus diolah dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

c. Air limbah domestik

Limbah berasal dari sisa hasil kegiatan rumah tangga berwujud cair seperti air bekas mandi, air bekas mencuci, air seni, dan lain sebagainya, umumnya terdiri bahan-bahan organik.

Dari ketiga kelompok air limbah diatas, air limbah industri merupakan limbah yang menyumbang zat-zat yang berbahaya dan sangat bervariasi sesuai dengan kebutuhan industri masing-masing. Sukono *et al.*, (2020), pada proses produksi suatu industri memiliki limbah cair yang mengandung logam seperti Cd, Pb, Zn, Co dan Cr. Zat tersebut apabila dalam konsentrasi yang tinggi dan jumlah yang banyak menyebabkan toksitas akut atau kronis (keracunan). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 pasal 1 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri menyatakan limbah cair merupakan limbah berbentuk cair dari kegiatan produksi industri

dan dibuang tanpa pengolahan yang berpotensi menurunkan kualitas lingkungan di sekitarnya.

3. Limbah Cair Batik Cap

Industri batik merupakan salah satu penggerak ekonomi di Indonesia. Batik tidak hanya memiliki nilai ekonomi juga memiliki nilai budaya dan identitas bangsa. Sejak batik memperoleh pengakuan dari *United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), peminat batik bertambah dan banyak masyarakat mengembangkan batik pada beberapa kota di indonesia (Romadhon, 2017). Salah satu kota penghasil kain batik adalah Kebumen (Ratna, 2012). Batik juga memiliki dampak bagi lingkungan yaitu sisa dari pengolahan batik yang biasa disebut limbah batik. Pengolahan batik memiliki tahapan pembuatan batik dimulai dengan persiapan, pemolaan, pemalaman, pewarnaan celup, pelorodan (penghilangan lilin batik) dan pekerjaan akhir (*finishing*).

Ramesh *et al.*, (2007) menyatakan limbah yang dihasilkan industri batik sebagian besar berupa air yang mengandung zat warna, mengandung

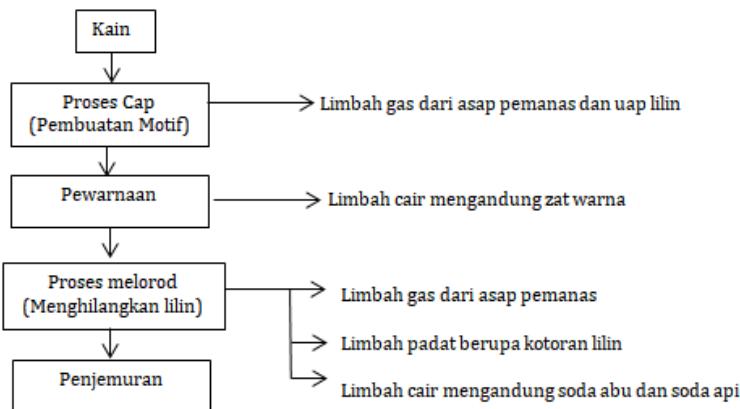
residu pewarna reaktif dan bahan kimia. Limbah tersebut dikategorikan limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Dampak dari limbah B3 yaitu air menjadi keruh, sehingga menghalangi masuknya cahaya matahari ke dasar perairan dan mengganggu keseimbangan fotosintesis tumbuhan yang berada di dasar laut serta menimbulkan efek mutagenik dan karsinogen bagi lingkungan. Air limbah batik di indonesia rata rata mengandung 750 mg/l padatan tersuspensi dan 500 mg/l BOD. Perbandingan COD : BOD adalah dalam kisaran 1,5 ;1 sampai 3 : 1. Nilai tersebut melebihi baku mutu lingkungan.

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Tekstil Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 2014
 (Lampiran XLII)

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD ₅	60	6
COD	150	15
TSS	50	5
Fenol Total	0,5	0,05
Krom Total (Cr)	1,0	0,1
Amonia Total (NH ₃ -N)	8,0	0,8
Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03
Minyak dan Lemak	3,0	0,3
pH	6,0 – 9,0	
Debit Limbah Paling Tinggi	100 m3/ton produk tekstil	

4. Karakteristik Limbah Cair Batik Cap

Industri batik umumnya menghasilkan limbah berupa limbah cair, limbah padat, limbah gas yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Purnamasari (2011) menyatakan zat yang terkandung pada limbah cair batik yaitu 9,99% air dan 0,1%. Padatan. Dalam gambar 2.2 dipaparkan limbah cair batik diperoleh dari proses pengolahan kain, pewarnaan, dan pelorongan. Sembiring (2008) menyatakan proses pengolahan kain dan pewarnaan, menghasilkan limbah cair yang mengandung zat kimia serta logam berat seperti Besi (Fe), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Cadmium (Cd), dan Timbal (Pb).



Gambar 2.1 Skema pembuatan batik cap dan sumber limbah

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

Dari keseluruhan proses batik umumnya menggunakan bahan kimia dan mengandung logam berat serta bersifat basa (Apriyani, 2018). Ningsih (2017) menyatakan zat pewarna pada limbah batik memiliki sifat sukar terdegradasi karena sifatnya yang mampu menahan kerusakan oksidatif dari cahaya matahari. Karakter air limbah industri batik digolongkan sebagai berikut:

a. Karakter Fisik

Karakter fisik meliputi padatan, warna, bau, pH, suhu. Pada umumnya limbah batik memiliki padatan terlarut *Total Dissolved Solids* (TDS) dan padatan tidak terlarut yang biasa disebut *Total Suspended Solids* (TSS). Umumnya kandungan TSS sebesar 40-65%. *Lestari et al.*, (2014) menyatakan TDS mempengaruhi warna limbah cair dikarenakan adanya partikel terlarut dissolved, tersuspensi suspended, dan senyawa senyawa koloidal.

Apriyani (2018) menyatakan tingkat pencemaran tinggi dapat dilihat dari indikator seperti meningkatnya suhu 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10%, Air limbah berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh.

b. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia meliputi pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Dissolved Oxygen* (DO). COD merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Nilai COD yang semakin tinggi menunjukkan bahwa semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk kelangsungan hidup biota air. Kematian biota air karena menurunnya kandungan oksigen dalam air dapat merupakan salah satu indikator tercemarnya air (Apriyani 2018).

c. Karakter Biologis

Karakteristik biologis meliputi mikroorganisme seperti plankton, bentos, *e. coli*, *coliform* dan lain sebagainya. Mikroorganisme tersebut memiliki konsentrasi 10⁵-10⁸ organisme/ml.

Bakteri berperan penting dalam mengevaluasi kualitas air. Bakteri yang biasanya menjadi parameter pengukuran kualitas air secara biologis yaitu bakteri *e coli* dan *coliform* (Purwaningsih 2011).

5. Logam Berat Cd

Logam Berat pada limbah tekstil di dapatkan karena menggunakan bahan kimia, khususnya menggunakan pewarna sintetik. Limbah batik termasuk ke dalam limbah tekstil. Busran & Busran & Rachmatiah (2010) menyatakan limbah tekstil mengandung logam yang ditetapkan sebagai sumber pencemar yang sulit terdegradasi secara alami, logam yang terkandung dalam limbah tekstil yaitu Zn, Cu, Pb, Cd, dan Cr yang berasal dari zat pewarna pada proses pewarnaan dan bahan organik seperti fenol, NaOH, minyak, dan lemak yang berasal dari proses desizing, bleaching, dan dyeing. Salah satu logam berbahaya yaitu cadmium (Cd).

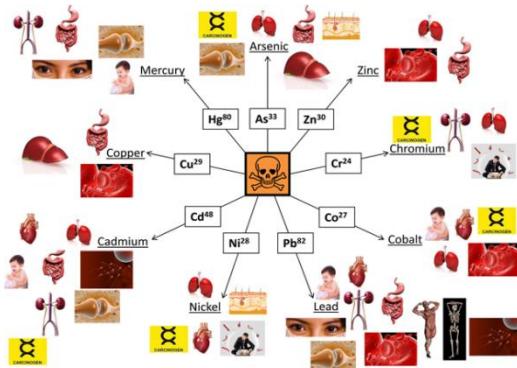
Cadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang sangat luas di alam, logam ini bernomor atom 48 berat atom 112,40 dengan titik cair 321°C dan titik didih 765°C. Di

alam kadmium bersenyawa dengan belerang (S) (ZnS). Kadmium merupakan logam lunak (cuctile) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas amonia (Palar, 2008).

Cadmium merupakan logam berat non esensial. Efek jangka panjang yang ditimbulkan oleh pencemaran logam Cd (Cadmium) berpengaruh pada kesehatan lingkungan dan manusia. Nur (2013), menyatakan logam cadmium (Cd) yang larut pada sungai berbahaya untuk ikan, hal tersebut disebabkan logam cadmium (Cd) diserap melalui insang dan saluran pencernaan, jika hal tersebut terjadi dalam jangka waktu yang panjang menyebabkan kematian pada ikan.

Efek logam cadmium (Cd) juga berbahaya untuk kesehatan manusia, hal tersebut dapat dilihat dari jumlah kandungan yang masuk ke dalam tubuh manusia, pada dosis rendah menyebabkan batuk, sakit kepala, dan muntah sedangkan pada dosis tinggi dapat menyebabkan akumulasi pada ginjal, hati, tulang. Anemia kronik dapat disebabkan akibat dari paparan air minum yang mengandung cadmium (Cd) dalam jangka waktu yang lama (Pulungan & Wahyuni, 2021).

Dapat di lihat pada gambar 2.3 organ tubuh yang terganggu jika logam berat masuk ke dalam tubuh.



Gambar 2.2 Skema target logam berat terhadap organ tubuh manusia (Danil *et al*, 2012).

6. Fitoremediasi

Salah satu pengolahan limbah dengan sederhana secara biologis yaitu fitoremediasi. Ali *et al.*, (2013) menyatakan fitoremediasi berasal dari kata phyto (yunani) yang memiliki arti tumbuhan dan remedium (bahasa latin) yang dilekatkan pada akar (untuk memperbaiki atau menghilangkan kejahanatan). Fitoremediasi bisa disebut dengan teknologi remediasi in-situ yang memanfaatkan kemampuan suatu tumbuhan hidup. Fitoremediasi disebut juga teknologi pembersihan yang ramah lingkungan dan

digerakan oleh energi matahari, hal ini berdasarkan konsep alami untuk membersihkan lingkungan (Glick, 2010). Antoniadis *et al.*, (2017) menyatakan fitoremediasi menggunakan tumbuhan dapat membersihkan zat polusi seperti logam, pestisida, bahan peledak, dan minyak selain itu, dapat mencegah air tanah membawa polutan dari lokasi ke area lain.

Awal mula fitoremediasi dimulai pada tahun 1970-an oleh ahli geobotani di Caledonia menemukan tumbuhan *Sebertia acuminata* dapat mengakumulasi logam nikel (Ni) sebesar 20% dan pada tahun 1980-an beberapa peneliti telah membuktikan mengenai akumulasi logam berat menggunakan tumbuhan dan terbukti tumbuhan dapat membersihkan polutan (Viobeth, 2013). Ciri ciri tumbuhan yang dapat digunakan untuk agen fitoremediator yaitu tumbuhan bersifat hiperakumulator dan hipertoleran. Tumbuhan yang efektif digunakan untuk fitoremediasi adalah tumbuhan muda. Hal tersebut dikarenakan tumbuhan berumur muda memiliki laju pertumbuhan tinggi hal tersebut memungkinkan untuk menyerap dan mengakumulasi polutan

dengan waktu yang cepat. Ciri morfologi tanaman muda yaitu daun berwarna hijau muda.(Jamil dkk, 2016)

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat khususnya pada organ daun, pada nilai yang melebihi baku mutu yang telah ditentukan. Tumbuhan yang memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat berfungsi sebagai strategi pertahanan alelopati terhadap tumbuhan yang dianggap sebagai pesaing. Selain itu juga berfungsi untuk pertahanan terhadap kekeringan / strategi pertahanan terhadap patogen dan herbivora (Lidia, 2022). Tumbuhan hipertoleran adalah tumbuhan yang dapat mentoleransi dan menyesuaikan diri pada sebuah lingkungan yang tercemar zat berbahaya. Tumbuhan hipertoleran memiliki kemampuan adaptasi yang dapat dilihat dari struktur morfologi, anatomi dan fisiologi.

Ma *et al.*, (2011) menyatakan mekanisme Fitoremediasi terbagi menjadi beberapa tahapan dalam mengdegradasi polutan yaitu fitoekstraksi, fitoeksresi (fitovolatisasi), fitodegradasi,

fitostabilisasi dan rizodegradasi, untuk penjelasannya seperti di bawah ini:

a. Fitoekstraksi

Lidia (2022) menyatakan fitoekstraksi yaitu kemampuan tumbuhan untuk menyerap polutan melalui akarnya dan mengakumulasikannya di bagian atas tanah (daun). Keberhasilan tahapan fitoekstraksi dilihat dari kemampuan tumbuhan untuk menyerap dan mengakumulasi polutan. Memilih tumbuhan yang tepat juga menjadi kunci keberhasilan tersebut. Kelebihan dari fitoekstraksi yaitu murah dan dapat diaplikasikan dan kekurangan dari fitoekstraksi yaitu proses yang lama dan terbatas pada lapisan permukaan tanah. Padmavathiamma dan Li (2007) menyatakan Fitoekstraksi dibagi menjadi 2 yaitu fitoekstraksi kontinyu dan fitoekstraksi terbantu. Fitoekstraksi kontinyu melibatkan akumulasi logam berat tumbuhan selama seluruh periode pertumbuhan serta fitoekstraksi terbantu zat yang berada di

dalam tumbuhan yang mendukung menyerap ion logam tumbuhan.

b. Fitoeksresi (fitovolatisasi)

Wang *et al.*, menyatakan 2017 Fitoeksresi/ fitovolatisasi yaitu kemampuan tumbuhan untuk melibatkan polutan dibawa ke dalam tubuh tumbuhan dan diikuti oleh transpirasi serta pelepasan zat yang diserap ke atmosfer dalam bentuk yang tidak beracun. Fitovolatilisasi menyebabkan difusi polutan dari batang / bagian tumbuhan lain yang dilalui polutan dari batang atau bagian tumbuhan lain yang dilalui polutan sebelum mencapai ke daun. Keuntungan dari Fitoeksresi yaitu dpat mengubah polutan berupa ion merkuri dapat diubah menjadi zat yang kurang beracun. Kerugian fitoeksresi yaitu merkuri yang dilepaskan ke atmosfer kemungkinan besar akan didaur ulang oleh presipitasi dan kemudian disimpan kembali ke danau dan lautan, mengulangi produksi metilmerkuri oleh bakteri anaerob (Geo *et al*, 2020).

c. Fitodegradasi

Fitodegradasi adalah penggunaan tumbuhan dapat memurnikan mikroorganisme serta mengkonversi senyawa beracun menjadi senyawa kurang beracun dan melepaskannya ke atmosfer. Mekanisme kerjanya yaitu diakumulasi pada jaringan terutama pada akar yaitu melalui zona akar tumbuhan melalui sekresi enzim yang mendegradasi zat beracun (Vishoi dan Srivastava, 2008).

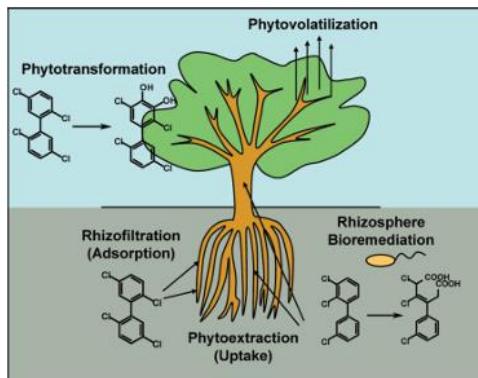
d. Fitostabilisasi

Saier & Trevors, 2010 menyatakan Fitostabilisasi yaitu metode tumbuhan menyerap polutan mengubahnya menjadi bentuk yang mudah menguap dan memindahkannya ke atmosfer. Biasanya tumbuhan yang memiliki kemampuan tersebut mengeluarkan asam organik dan senyawa fenolik yang mengikat ion logam, sehingga dapat menurunkan konsentrasi logam. Tumbuhan menahan logam melalui penyerapan dan akumulasi akar/ adsorpsi

permukaan akar. Kemampuan tumbuhan untuk mengakumulasi logam di akar dan pada dasarnya logam tidak berpindah ke dalam tunas, hal tersebut melindungi hewan herbivora dengan mencegah zat beracun memasuki sistem pencernaanya, dan juga mencegah masuknya kembali logam ke dalam tanah ketika daunnya gugur (Wu *et al.*, 2010).

e. Rizofiltrasi

Rizofiltrasi yaitu kemampuan tumbuhan dapat menghilangkan polutan dari air tanah dan air limbah serta memiliki kemampuan menyerap ion logam berat oleh akar tumbuhan yang sebelumnya diendapkan dan diakumulasi oleh sel akar. Metode ini dapat disebut dengan metode adsorpsi atau pengendapan ke akar tumbuhan karena menyerap kontaminan dalam polutan yang berada pada sekeliling akar. Rizofiltrasi dapat digunakan untuk logam Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, dan Cr, yang tertahan dalam akar (Vamerali *et al.*, 2010).



Gambar 2.3 Mekanisme fitoekstraksi, fitoeksresi (fitovolatisasi), fitodegradasi, fitostabilisasi dan rizodegradasi tumbuhan dalam menyerap polutan (Aken et.al, 2010)

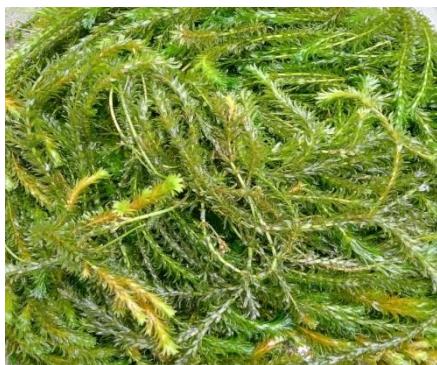
7. Agen fitoremediator

a. *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle

Hydrilla Verticillata (L.f.) Royale merupakan jenis tumbuhan air yang memiliki morfologi seperti batang, daun dan akar. Batang tumbuhan *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royale berwarna hijau, berbentuk tegak, ramping, bercabang dan dapat tumbuh mencapai permukaan air. Daun tumbuhan *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royale berwarna hijau, berbentuk kecil seperti lanset, tipis, lebar 2-4 mm, panjang 6-20 mm serta memiliki gerigi di bagian tepinya. Setiap tiga sampai empat helai daun

tumbuh melingkar dan membentuk ruas pada batang. Selain itu *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royale memiliki tangkai dan pelepas, pada tangkainya memiliki warna hijau dengan diameter 0,1 mm serta pelepas daun berwarna merah dan memiliki satu duri dibawah per mukaanya. Pada bagian akar memiliki warna putih atau merah kecoklatan dan memiliki jenis serabut (Maerer dan Garvey, 2001).

Berikut adalah klasifikasi dari tumbuhan *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle:



Gambar 2.4 *Hydrilla verticillata* (L. f.)
Royle
(Dokumentasi Penelitian)

Kingdom: Plantae

Phylum: Tracheophyta

Class: Liliopsida

Ordo: Alismatales

Family: Hydrocharitaceae

Genus: *Hydrilla* Rich.

Species: *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

(Sumber: GBIF, 2024)

Hydrilla Verticillata (L.f.) Royle dapat disebut gulma perairan dan tumbuh pada kedalaman 10 – 15 meter dibawah permukaan air. Biasanya memiliki habitat di kolam, danau, sungai, dan parit (air tawar). Dampak dari gulma perairan yaitu dapat mengganggu ekosistem perairan contohnya menggantikan tumbuhan asli perairan dan mempengaruhi populasi ikan. Tumbuhan ini berkembang biak secara vegetatif dan dapat menyebar dengan cepat oleh karena itu tumbuhan ini dapat disebut gulma/tumbuhan pengganggu. Karena kurangnya informasi masyarakat luas mengenai manfaat dan kandungan tumbuhan ini masih dianggap gulma (Ginting, 2023).

Prabha (2015) menyatakan berdasarkan potensinya tumbuhan ini memiliki manfaat pada bidang kesehatan. Setelah diteliti *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle memiliki kandungan metabolit sekunder yang

dapat digunakan sebagai antioksidan, metabolit sekunder yang dimiliki yaitu senyawa flavonoid dan steroid. Selain itu tumbuhan ini memiliki kandungan nutrisi B-12 sebesar 1,1 mg/10,5 g, kandungan besi sebesar 35,8 mg/10,5 g dan kandungan kalsium sebesar 1.460 mg/10,5 g yang biasanya nutrisi tersebut terdapat pada susu, keju dan daging. Nutrisi tersebut berguna untuk memelihara kesehatan mental dan menjaga kekuatan tulang serta elastisitas jaringan ikat.

Selain bermanfaat pada bidang kesehatan, *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle juga bermanfaat untuk bidang lingkungan. Lestari *et al.*, 2018, Tumbuhan *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle mampu menyerap logam berat dan cukup efektif dan efisien dalam metode fitoremediasi. Diantaranya dapat menyerap logam Cu, Cr, Zn dan Pb. Oleh karena itu *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle banyak digunakan untuk mendegradasi limbah cair.

b. *Pistia stratiotes L*

Pistia stratiotes L dalam bahasa lokal yaitu apu-apu merupakan tumbuhan yang biasa hidup mengapung di perairan yang tenang seperti kolam dan disebut gulma air karena memiliki pertumbuhan yang cepat. Umumnya tumbuhan ini berkembang biak secara generatif dan vegetatif. Langeland (2008) menyatakan penyerbukan secara generatif melalui penyerbukan ada bunga dan penyerbukan vegetatif dapat ditandai dengan adanya pembentukan stolon. Dari stolon tersebut dipotong pada ujungnya terlepas dan akan tumbuh menjadi individu baru. Dengan adanya kemampuan penyerbukan ganda tersebut apu apu memiliki pertumbuhan yang sangat cepat dan dapat mengganggu ekosistem setempat serta dapat menghalangi sinar matahari yang masuk sehingga mempengaruhi tumbuhan yang hidup di dasar perairan.

Pistia stratiotes L merupakan salah satu spesies family aracea yang memiliki bentuk solet menyerupai mawar yang mana

ujungnya membulat dan pangkalnya meruncing. Morfologi apu-apu hanya memiliki daun, stolon ,akar dan tidak memiliki batang. *Pistia stratiotes* L memiliki tulang daun sejajar serta memiliki akar serabut yang memiliki struktur seperti keranjang dan dikelilingi gelembung udara, gelembung udara digunakan agar tumbuhan *Pistia stratiotes* L dapat mengapung (Laili, 2020).

Berikut klasifikasi tumbuhan *Pistia stratiotes* L:



Gambar 2.5 *Pistia stratiotes* L
(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Kingdom: Plantae

Phylum: Racheophyta

Class: Liliopsida

Ordo: Alismatales

Family: Araceae

Genus: *Pistia* L

Species: *Pistia stratiotes* L

(Sumber: GBIF, 2024)

Tumbuhan *Pistia stratiotes* merupakan tumbuhan yang dapat di manfaatkan untuk fitoremediasi karena memiliki sifat hiperakumulator dan hipertoleran terhadap polutan. Polutan yang dapat didegradasi oleh *Pistia stratiotes* L seperti logam berat, zat organik dan anorganik. Izzah dkk., (2017) menyatakan *Pistia stratiotes* L memiliki potensi untuk menyerap logam berat seperti Fe, Zn, Cu, Cr, dan Cd tanpa menyebabkan toksitas yang lain. Selain logam berat tumbuhan *Pistia stratiotes* L dapat menjernihkan air yang keruh karena mempunyai daya ikat butiran-butiran lumpur yang halus dengan baik. Utami dkk., 2017 menyatakan proses tumbuhan apu-apu menyerap polutan secara alami menggunakan mekanisme fitoekstraksi dan rhizofiltrasi. fitoekstraksi merupakan proses dimana polutan menempel pada akar karena ditarik

oleh tanaman *Pistia stratiotes* L serta rhizofiltrasi merupakan mengendapnya poutan oleh akar dengan bantuan zat pengkhelat (Laili, 2020).

B. Kajian ayat Al - Qur'an

Kerusakan lingkungan disebabkan oleh ulah manusia. Salah satu penyebab kerusakan lingkungan yaitu membuang limbah berbahaya ke badan lingkungan. Hannan *et al.*, (2024) menyatakan limbah batik menimbulkan masalah pencemaran yang serius jika langsung dibuang ke lingkungan. Merusak lingkungan adalah perbuatan yang dilarang oleh Allah SWT. Muhammad (2022) menyatakan Al qur'an sudah memerintahkan kepada manusia untuk memelihara lingkungan. Memelihara lingkungan merupakan perwujudan keimanan manusia kepada Allah SWT. Allah SWT dengan tegas berfirman dalam Q.S Al-A'raf:85 tentang jangan melakukan kerusakan yaitu :

وَالى مَدِينَ أَخَاهُمْ شُعْبَيْنَ قَالَ يَقُولُمْ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِنَ اللَّهِ غَيْرُهُ
هُدْ جَاءَتُكُمْ بَيْنَهُ مِنْ رَبِّكُمْ فَأَوْفُوا الْكَيْلَ وَالْمِيزَانَ وَلَا تَبْخُسُوا النَّاسَ
أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا ذَلِكُمْ خَيْرٌ لَكُمْ إِنْ كُنْتُمْ
مُؤْمِنِينَ

Artinya: Kepada penduduk Madyan, Kami (utus) saudara mereka, Syu'aib. Dia berkata, "Wahai kaumku, sembahlah Allah. Tidak ada bagimu tuhan (yang disembah) selain Dia. Sungguh, telah datang kepadamu bukti yang nyata dari Tuhanmu. Maka, sempurnakanlah takaran dan timbangan, dan janganlah merugikan (hak-hak) orang lain sedikit pun. Jangan (pula) berbuat kerusakan di bumi setelah perbaikannya. Itulah lebih baik bagimu, jika kamu beriman.

Ayat 85 di surat al a'raf ini berisi tentang sebagai manusia tidak diperbolehkan curang dan membuat kerusakan di bumi seperti kerusakan lingkungan. Bumi diciptakan oleh Allah SWT dengan sebaik baiknya dan memiliki berbagai manfaat untuk kehidupan makhluk-NYA. Lingkungan yang sehat ditandai dengan udara yang segar, air bersih, dan tanah tidak tercemar. Menjaga lingkungan tetap sehat hukumnya wajib sebagai makhluk hidup. Kegiatan yang mendukung untuk menjaga lingkungan tetap sehat seperti; tidak membuang sampah sembarangan, tidak membuang langsung limbah berbahaya ke lingkungan, tidak menebang pohon sembarangan dan lain sebagainya harus dilakukan oleh umat manusia.

Sebagai makhluk hidup menjaga bumi dari kerusakan sangat diharuskan untuk keberlangsungan hidup khususnya umat manusia. Selain itu, menjaga bumi dari kerusakan termasuk perbuatan terpuji yang disukai Allah SWT.

C. Kajian Penelitian yang Relevan

Tabel 2.2 Kajian Penelitian yang relevan

Penulis	Judul	Metode	Hasil	Research GAP
Megagupita <i>et al.</i> , (2024)	Perbandingan Efektivitas Fitoremediasi Mereduksi BOD dan COD (Studi Kasus: Industri Batik Alam, Pasuruan)	Metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pada 2 faktorial yaitu Dalam Mereduksi dan jenis tumbuhan yang berbeda.	Konsentrasi 20% adalah konsentrasi paling efektif dalam proses fitoremediasi. BOD pada tumbuhan Eceng Gondok dari 305.36 menjadi 199.27 mg.L-1 , sedangkan nilai BOD tumbuhan Kayu Apa dari 305.36 menjadi 229.95 mg.L-1 , COD pada tumbuhan eceng gondok dari 659.75 menjadi 505.18 mg.L-1 , Sedangkan waktu pemaparan dan jenis	Pada penelitian ini menggunakan RAL 2 faktorial yang berbeda (konsentrasi dan jenis tumbuhan) sedangkan pada penelitian yang akan datang menggunakan faktorial lama waktu pemaparan dan jenis

Achmad et al., 2024	Efektivitas <i>Hydrilla verticillata</i> (LF) Royle sebagai agen fitoremediasi pada air baku sungai Kaligarang	COD tumbuhan dari 659,75 mg.L ⁻¹ menjadi 519,93 mg.L ⁻¹ .	Kayu Apa yang tumbuhan yang berbeda.
	Metode eksperimen dengan pengaruh hari yaitu 5 dan 10 hari serta menggunakan Royle sebagai 15 gr berat tumbuhan.	Hasil yang diperoleh pada perlakuan S1 mengalami penurunan Fe (Besi) sebesar 0,9539 mg/L a (L.f.) Royle serta dengan nilai rata-rata 0,1683 mg/L, dan kadar Fe (Besi) perlakuan S2 mengalami penurunan menjadi 0,3557 mg/L dengan nilai rata-rata 0,766 mg/L.	Pada penelitian ini menggunakan <i>Hydrilla verticillata</i> a (L.f.) Royle serta menurunkan kadar Fe (Besi) sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan <i>Hydrilla verticillata</i> a (L.f.) Royle, <i>Pistia stratiotes</i> L

dan kombinasi dalam menurunkan logam cadmiumm (Cd) pada sampel limbah batik cap Kebumen.

Siti Fatimah, Arnelli, Yayuk Astuti (2023) Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Sabut Kelapa dengan Aktifator H_2SO_4 NaoH sebagai Adsorben Proses adsorpsi kation Fe dan Cu dilakukan dengan metode adsorpsi secara batch menggunakan karbon aktif dari sabut kelapa. Sampel K-H 3 dan K-Na 4 merupakan karbon aktif terbaik. Efisiensi adsorpsi kation Fe dan Cu aktif berbahan dasar sabut kelapa menggunakan K-H 3 masing-masing sebesar sedangkan 56,37% (b/b) dan 44,93% (b/b) sedangkan menggunakan K-Na 4 menggunakan Pada penelitian ini menggunakan metode karbon aktif berbahan dasar sabut kelapa sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan

	Kation Fe dan Cu dalam Limbah Cair Batik Kebumen	berturut-turut sebesar 71,54% (b/b) dan 70,89% (b/b).	metode fitoremediasi dan menggunakan sampel yang sama yaitu limbah cair batik Kebumen.	
Deyana Rose Shinta, Elly Proklamasi ningsih, Slamet Santoso, Ani Widayastuti (2023)	Fitoremediasi Limbah Cair Tekstil Menggunakan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam Meningkatkan Jumlah Helai perlakuan.	Metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL)dengan 2 faktor, yaitu luas penutupan (P) (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%) dan faktor kedua lama waktu pemaparan (T) (3, 6, dan 9) hari terdapat 15 interaksi	Persen luas penutupan 100% dan waktu pemaparan 9 hari merupakan yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tumbuhan. Sedangkan penutupan 75% dengan waktu pemaparan 9 hari	Pada penelitian ini fokus terhadap Meningkatkan Jumlah Helai Daun dan Bobot Basah, sedangkan penelitian yang akan dilakukan akan terhadap penurunan kadar

	Daun dan Bobot Basah	merupakan yang terbaik cadmium (Cd) dalam meningkatkan serta perubahan jumlah helai daun. morfologi tumbuhan.
Rizma Nur Fatikasari dan Tarzan Purnomo (2022)	Efektivitas Metode eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan Lemna minor sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik	Lemna minor lebih efektif dibandingkan <i>Hydrilla verticillata</i> 97,48% LAS deterjen. Morfologi <i>Hydrilla verticillata</i> dan <i>Lemna minor</i> sampel limbah <i>Hydrilla verticillata</i> pada kadar LAS deterjen yang tinggi sedangkan penelitian yang memperlihatkan perubahan warna pada akar, batang dan daun menggunakan morfologi tumbuhan.

Lemna minor pada kadar *Hydrilla verticillata* LAS deterjen tinggi α (L.f.) Royle, memperlihatkan *Pistia stratiotes* L perubahan warna pada dan kombinasi akar, batang dan daun. serta sampel limbah cair batik cap.

Lestari & Efektivitas Aminatun variasi (2018) biomassa tumbuhan *Hydrilla verticillata* dalam fitoremediasi limbah batik. Metode eksperimen dengan pengaruh biomassa yang digunakan yaitu 200, 250, 300 gram dalam 5 Liter dengan konsentrasi limbah *Hydrilla verticillata* 50%. Hasil menunjukan biomassa 250 gram paling efektif dalam menurunkan nilai BOD sebesar 541,0 mg/l menjadi 24,5 mg/l dan COD 1546,0 mg/l menjadi 205,5 mg/l. Pada penelitian ini menggunakan pengaruh jenis tumbuhan dan lama waktu dengan biomassa tumbuhan 50 gram dalam 1 L dengan

Munawwar oh & Pangestuti, (2018)	Analisis Morfologi dan Anatomi Akar Kayu Apu stratiotes L.)	Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 1 faktor yaitu konsentrasi Cd (0 ppm, 4 ppm, 8 ppm, dan 12 ppm). Masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan 3 kali. Perlakuan dilaksanakan selama 14 hari dengan Konsentrasi Kadmium (Cd)	Hasil menunjukkan secara morfologi, akar tumbuhan yang terpapar logam Cd mempunyai akar tekstur akar yang lunak dan rambut akar sebagian besar terputus. Secara anatomi, menunjukkan perbedaan yang nyata tiap perlakuan terhadap jumlah trachea akar.	penelitian bahwa respon anatomii dan mempunyai yang terpapar akar yang lunak sebagian terputus. Secara menunjukkan yang nyata tiap lakuan pada yang akibat Dimana semakin tinggi penyerapan logam Cd maka jumlah tumbuhan	konsentrasi limbah 20%. Pada penelitian ini fokus terhadap respon anatomii dan morfologi Pistia stratiotes L akibat pemberian logam Cd. Penelitian yang akan di lakukan fokus pada logam Cd yang akibat Dimana semakin tinggi penyerapan logam Cd maka jumlah tumbuhan Pistia
--	---	---	---	---	--

Jamil, et al. (2016)	Pengaruh variasi lama waktu kontak dan jumlah tumbuhan kayu (<i>Pistia</i> <i>stratiotes</i> L)	Metode eksperimen dengan Variasi lama waktu dan jumlah tumbuhan. Variasi lama waktu yang digunakan tumbuhan yaitu 6 hari, 7 hari, dan 8 hari, apu sedangkan variasi jumlah tumbuhan yang digunakan yaitu 6 dan 8 terhadap tumbuhan kayu apu.	trakea semakin sedikit. Hasil menunjukan <i>Pistia</i> <i>stratiotes</i> L dapat menurunkan logam paling efektif mencapai 64,09% sebesar 0,840 mg/l menjadi 0,164 mg/l, terjadi pada hari ke-8 dengan 8 tumbuhan Pistia stratiotes L.	stratiotes <i>Hydrilla</i> <i>verticillata</i> dan kombinasi dalam menurunkan kadar logam Cd. Pada penelitian ini menggunakan pengaruh jenis cadmium paling efektif tumbuhan dan lama waktu kontak yang digunakan 4, 6, 8 dan 12.
-------------------------	--	--	--	---

kadar cadmium (Cd) limbah cair batik home industry "x" di Magelang.

Juwita Eka Efektivitas Penelitian eksperimen hasil penelitian diperoleh Pada penelitian ini Hapsari, Kangkung Air dengan rancangan studi rata-rata kadar Pb menggunakan Choirul (*Ipomoea pretest posttest with* sebelum perlakuan tumbuhan Amri, Adib (*aquatica*) *control group* ini dilakukan sebesar 0,252 kangkung dan Suyanto sebagai di Pilang kenceng pada mg/l.Penambahan lima menurunkan (2018) Fitoremediasi tahun 2017-2018. Tahapan batang kangkung air kadar Pb (Timbal). dalam penelitian yang dilakukan menghasilkan selisih Sedangkan, Menurunkan berawal dengan penurunan sebesar 0,001 penelitian yang Kadar Timbal aklimatisasi yaitu menanam mg/l;penambahan 10 akan datang (Pb) Air tumbuhan kangkung air di batang kangkung menggunakan

Limbah Batik	dalam bak yang berisi air	menurunkan 0,077 mg/l;	tumbuhan	
	limbah batik dengan	dan penambahan	15	<i>Hydrilla verticillata</i>
	konsentrasi 0%, 50%	batang	kangkung	<i>a</i> (L.f.) Royle,
	dan 100%. Hal ini	menurunkan	0,112 mg/l.	<i>Pistia stratiotes L</i>
	berguna agar	Analisis	data	dengan dan kombinasi
	tumbuhan tersebut	menggunakan	ujji statistik	serta menurunkan
	dapat beradaptasi	one-way	anova pada	logam cadmium
		$\alpha=0,05$	menunjukkan	(Cd).
			adanya perbedaan yang	
			signifikan (nilai p < 0,001)	
			di antara selisih-selisih	
			penurunan tersebut.	
Charisma	Pengaruh	Penelitian dilakukan selama	Reaktor dengan jumlah 2	Pada penelitian ini
Widya,	waktu	tinggal 15 hari. Menggunakan 4	<i>Pistia</i>	menggunakan
Badrus	dan jumlah	reaktor yang memiliki	<i>stratiotes L</i>	pengaruh waktu
Zaman,	kayu apu	jumlah tanaman berbeda	efisiensi	penyisihan yaitu 15 hari serta

Syafrudin (2015)	(<i>Pistia stratiotes L.</i>)	(kontrol, 2, 4 dan 6). Dengan Terhadap penurunan bod, cod dan warna	Dengan sebesar 93,96% untuk jumlah tumbuhan COD, 90,09 % untuk BOD, yang berbeda dan 93,16% untuk setiap perlakuan warna. Reaktor dengan sedangkan pada jumlah 4 <i>Pistia stratiotes L</i> penelitian ini efisiensi penyisihan COD menggunakan 0, 4, sebesar 95,96%, dan 6, 8 dan 12 hari efisiensi penyisihan COD dan jumlah sebesar 93,01 % tumbuhan sama BOD, dan warna 93,65%. setiap perlakuan Reaktor dengan jumlah 50 gram. tumbuhan mempunyai efisiensi penyisihan COD sebesar 97,96%, 95,91% untuk BOD, dan 95,60% untuk warna
---------------------	---------------------------------	---	--

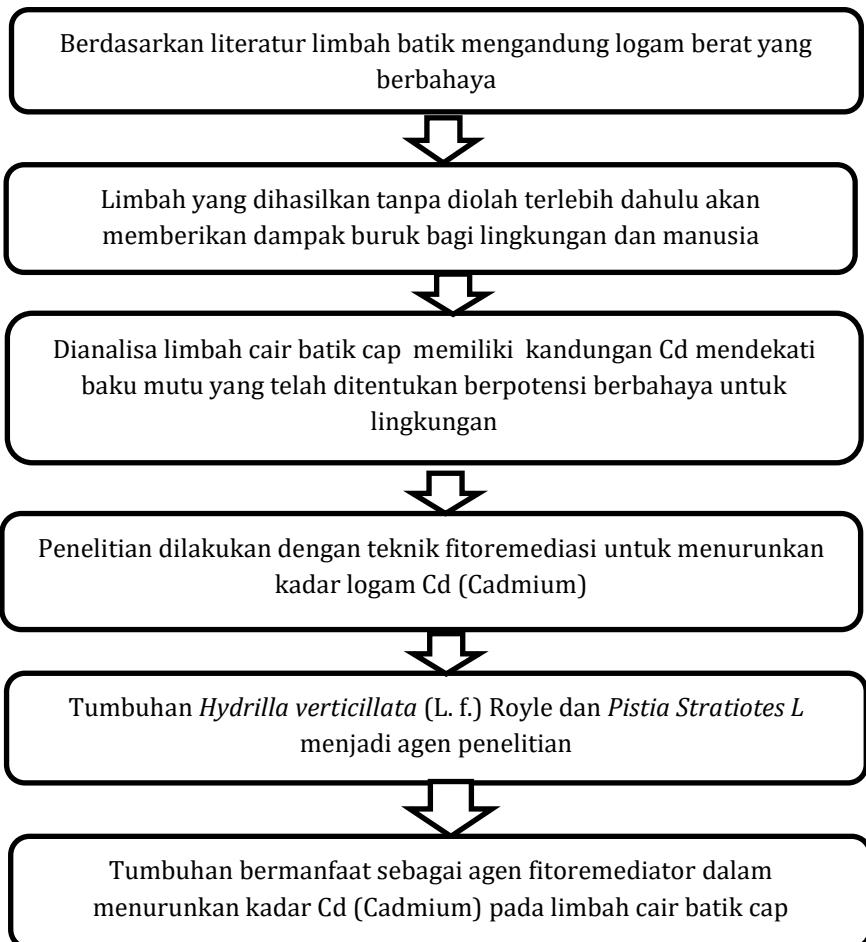
Bambang Suharto, Ruslan Wirosoedarmo, Rio Hengky Sulanda (2013)	Pengolahan Limbah Batik Tulis Dengan Fitoremediasi Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok	Metode dengan fitoremediator Fitoremediasi Gondok untuk menurunkan BOD, COD, dan TSS.	fitoremediasi tumbuhan Eceng gondok	Perlakuan berdasarkan jumlah eceng gondok dan lama waktu pemaparan limbah batik paling efektif untuk menurunkan kandungan BOD, COD dan TSS terdapat pada perlakuan yang sama, yaitu pada lama pemparan 12 hari dengan jumlah eceng gondok sebanyak 7 buah.	terbaik berdasarkan jumlah eceng gondok dan lama waktu pemaparan limbah batik paling efektif untuk menurunkan kandungan BOD, COD dan TSS terdapat pada perlakuan yang sama, yaitu pada lama pemparan 12 hari dengan jumlah eceng gondok sebanyak 7 buah.	Pada penelitian ini menggunakan tumbuhan Eceng Gondok serta menurunkan kandungan BOD, COD dan TSS serta penelitian yang akan dilakukan menggunakan <i>Hydrilla verticillata</i> a (L.f.) Royle, <i>Pistia stratiotes</i> L dan kombinasi serta menurunkan kandungan logam
---	--	---	-------------------------------------	--	--	---

Tuty dan Pengolahan limbah cair industri batik Palembang dengan proses filtrasi dan adsorpsi Metode yang digunakan menggunakan lapisan pasir cap khas. Semakin tinggi lapisan pasir yang digunakan maka semakin banyak TSS dan COD yang terserap. Pada proses adsorpsi limbah cap salah semakin besar ketinggian zelot dan semakin lama waktu kontak semakin banyak sampel COD dan TSS yang terserap.

Pada penelitian ini menguji kadar awal polutan yang ada di dalam satunya kadar logam. Kadar logam yang di uji Cr (0,1385 mg/L), Fe (2,0587 mg/L), Cu (0,2696 mg/L), Zn(54,7175mg/L), Cd (0,0063 mg/L). Logam tersebut menjadi acuan cadmium (Cd).

dasar peneliti
melakukan uji
awal logam yang
dominan pada
limbah batik cap.

D. Alur Kerangka Berpikir



E. Rumusan Hipotesis

H₀ : Tidak terdapat pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik Kebumen.

H₁ : Terdapat pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik Kebumen.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian pada riset ini yaitu eksperimental dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif dilakukan untuk mengetahui absorpsi kadar cadmium (Cd) dalam sampel limbah cair batik dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan pendekatan kualitatif dilakukan untuk mengetahui *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L pada saat sudah terpapar limbah cair batik. Eksperimen pada riset ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian ini menggunakan dua faktor perlakuan yaitu lama pemaparan limbah (4 hari, 6 hari, 8 hari, 12 hari) dan jenis tumbuhan (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi). Sugiyono (2007) menyatakan RAL merupakan metode eksperimen yang mengedepankan pengacakan untuk mengontrol variabel luar. RAL juga disebut rancangan paling sederhana karena keragaman yang digunakan hanya perlakuan dan semua satuan percobaan ditata secara homogen.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari-Februari 2025. Pengambilan sampel dilakukan di Industri UMKM “Zahra Batik”, untuk lokasi pemaparan dilakukan di rumah peneliti yang berada di Kabupaten Kebumen dan untuk lokasi pengujian dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan Kabupaten Kebumen.



Sumber: Google Earth, 2024; Peta Kabupaten Kebumen,

2020.



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Limbah Cair Batik
(Dokumen Penelitian)

C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan untuk proses fitoremediasi yaitu:

1. Alat

Alat yang diperlukan yaitu Jerigen, bak plastik, botol plastik (*Polyethilen*), mantel heating, lemari asam, kertas saring, gelas beaker, gelas kaca, corong gelas, aerator, seperangkat alat spektfotometri serapan atom, seperangkat pipet volume, kertas label, kamera, dan alat tulis.

2. Bahan

Bahan yang diperlukan yaitu sampel limbah cair batik, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, HNO₃ 65%, aquades, Larutan blanko, Larutan standar cadmium (0,05 , 0,1 , 0,3 0,6).

D. Rancangan Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental yang dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktorial yaitu jenis tumbuhan (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) dan perlakuan waktu 4 hari, 6 hari, 8 hari, dan 12 hari serta 1 perlakuan untuk kontrol. Setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan (Triplo) dengan rumus sebagai berikut:

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

$$15(n-1) \geq 15$$

$$15n-10 \geq 15$$

$$15n \geq 15+15$$

$$15n \geq 30$$

$$n \geq 2$$

Keterangan :

t: Banyaknya perlakuan

n: Banyaknya pengulangan

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Perlakuan(S)	Tumbuhan(T)		
	1	2	3
S ₀	S ₀ T ₁	S ₀ T ₂	S ₀ T ₃
S ₁	S ₁ T ₁	S ₁ T ₂	S ₁ T ₃
S ₂	S ₂ T ₁	S ₂ T ₂	S ₂ T ₃
S ₃	S ₃ T ₁	S ₃ T ₂	S ₃ T ₃
S ₄	S ₄ T ₁	S ₄ T ₂	S ₄ T ₃

Keterangan :

S₀ : Air Aquades

S₁ : Limbah cair batik 4 hari

S₂ : Limbah cair batik 6 hari

S₃ : Limbah cair batik 8 hari

S₄ : Limbah cair batik 12 hari

T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T_2 : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T_3 : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

E. Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 3 variabel, yakni variabel bebas, variabel terikat dan kontrol

1. Variabel bebas : Waktu pemaparan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L dalam sampel limbah batik
2. Variabel terikat : Konsentrasi Cd dan perubahan morfologi tumbuhan dalam pemaparan limbah batik setelah perlakuan fitoremediasi.
3. Variabel kontrol : Suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya pada saat proses fitoremediasi.

F. Metode

1. Pengambilan limbah cair batik kebumen dan tumbuhan

Limbah cair batik cap yang diambil dari proses pencucian pewarnaan. Limbah diambil sebanyak 10 Liter menggunakan jerigen didiamkan pada suhu ruang dan dianalisis kadar awal Cd. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle diambil di sungai dan *Pistia stratiotes* L diambil di sawah yang berada di desa Gemeksekti.

2. Aklimatisasi

Harjanto dan Rakhmania (2007) menyatakan aklimatisasi dapat disebut massa penyesuaian tumbuhan dari habitatnya terhadap lingkungan barunya. Masa aklimatisasi dapat disebut dengan masa kritis, karena sering disebut dengan masa kritis. Aklimatisasi dilakukan dengan menyiapkan ember yang berisikan aquades dengan aerator sebagai sumber oksigen untuk pertumbuhan selama 7 hari (Laili *et al.*, 2020). Setelah aklimatisasi, tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L sebanyak 50 gram, dipindahkan ke baki plastik untuk dilakukan proses pemaparan fitoremediasi.

3. Persiapan Pembuatan Larutan standar Cd (Cadmium)

Prosedur menganut Air dan air limbah-Bagian 84: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) – nyala langkah langkahnya sebagai berikut :

- a. Pembuatan larutan pengencer. Menambahkan 1,5 mL HNO₃ pekat (65%) ke dalam 1000 mL aquades
- b. Pembuatan larutan baku logam cadmium 100 mg/L. Larutan induk logam cadmium 1000

mg/L dipipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL, tepatkan dengan larutan pengencer hingga tanda tera lalu dihomogenkan.

- c. Pembuatan larutan baku logam cadmium 10 mg/L. Larutan baku logam cadmium 100 mg/L dipipet sebanyak 10 mL, kemudian di masukkan ke dalam labu ukur 100 mL, tepatkan dengan larutan pengencer hingga tanda tera lalu dihomogenkan.
- d. Pembuatan larutan standar (0,05 , 0,1 , 0,3 0,6) dengan mengambil larutan baku logam cadmium 10 mg/L sesuai konsentrasi target dengan rumus :

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

Keterangan:

V_1 = Volume larutan awal

M_1 = Konsentrasi larutan awal

V_2 = Volume larutan akhir setelah diencerkan

M_2 = Konsentrasi larutan akhir

- Larutan standar 0,05 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 100 \text{ mL} \times 0,05 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

- Larutan standar 0,1 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 100 \text{ mL} \times 0,1 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

- Larutan standar 0,3 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 100 \text{ mL} \times 0,3 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

- Larutan standar 0,6 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 100 \text{ mL} \times 0,6 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

4. Proses Fitoremediasi dan Pemaparan Sampel

Proses fitoremediasi dilakukan dengan 3 kali pengulangan (Triplo), dengan wadah yang pertama atau S₀ digunakan sebagai perlakuan kontrol yang berisi aquades 1 Liter + 50 gr *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, 1 Liter + 50 gr *Pistia stratiotes* L dan aquades 1 Liter + 50 gr kombinasi (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L). Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L yang sebelumnya sudah diaklimatisasi kemudian dipilih bagian tumbuhan yang mempunyai ukuran kurang lebih sama, setelah itu ditimbang berat basahnya dengan menggunakan timbangan digital sebanyak 50 gr, kemudian pindahkan ke dalam baki plastik yang di dalamnya sudah terdapat 1 liter limbah cair yang telah diencerkan 1:4 (200 ml limbah cair diencerkan menggunakan aquades sebanyak 800 ml) ke dalam perlakuan S1 (4 hari), S2 (6 hari), S3 (8 hari), S4 (12 hari) dengan 3 kali pengulangan (Triplo).

5. Destruksi

Preparasi sampel dengan destruksi ini dilakukan 2 kali, destruksi pertama untuk uji kandungan awal Cd pada limbah cair batik sebelum diberi perlakuan, dan destruksi kedua untuk uji kandungan Cd setelah

diberi perlakuan S1, S2, S3, S4. Langkah penggerjaannya dilakukan berdasarkan SNI 6989-84:2019 tentang Air dan air limbah-Bagian 84 : Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)* - nyala

1. Sampel yang homogen dimasukkan 100 mL ke dalam gelas piala atau erlenmeyer 250 mL.
2. HNO₃ ditambahkan sebanyak 5 mL, kemudian tutup dengan kaca arloji jika menggunakan gelas piala dan apabila menggunakan erlenmeyer tutup dengan corong.
3. Larutan sampel dipanaskan sampai hampir kering. hingga larutan menyisakan volume 10 mL-20 mL.
4. Jika destruksi belum sempurna maka 5 mL HNO₃ pekat ditambahkan, kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup Erlenmeyer dengan corong dan panaskan lagi (tidak mendidih). lakukan secara berulang hingga semua logam larut dan terlihat warna endapan contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih.
5. Kaca arloji dibilas dan air bilasnya dimasukkan ke dalam gelas piala.
6. Sampel dipindahkan ke labu ukur yang berukuran 100 mL menggunakan kertas saring dan

tambahkan aquades hingga tanda tera (dihomogenkan).

6. Pengamatan Morfologi

Pengamatan morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia Stratiotes* L meliputi warna daun tumbuhan dan warna akar tumbuhan menggunakan Munsell soil color chart pdf, serta berat basah tumbuhan yang dilakukan selama masa pemaparan pada perlakuan S₀, S₁, S₂, S₃ dan S₄. Pengamatan dilakukan secara langsung dan melihat perubahan dari hari ke hari (hari ke-4, 6, 8 dan 12).

7. Pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Semua sampel hasil destruksi diambil dan didiamkan pada suhu ruang hingga mengalami pendinginan suhu sampai proses analisis AAS siap untuk dilakukan. Proses analisis kandungan Cd menggunakan instrumen 55 AA *Atomic Absorption Spectrophotometer* yang dilengkapi dengan lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp (HCL) cadmium dengan panjang gelombang yang digunakan adalah 228,8 nm.

8. Analisis Data dan Pengolahan Data

Analisis Data Analisis data dalam penelitian ini yaitu dari data yang diambil langsung dilapangan kemudian di analisis dengan :

- a. Analisis data hasil pengamatan berupa morfologi dan konsentrasi Cadmium. Pengamatan pada morfologi dengan cara mendokumentasikan dan mengamati perubahan warna daun, akar serta berat tumbuhan setiap perlakuan fitoremediasi (S_0 , S_1 , S_2 , S_3 dan S_4). Analisa logam berat dilakukan dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)
- b. Untuk efektivitas penurunan logam berat menggunakan rumus :

$$\text{Efektivitas (EF)} = \frac{(Co - Ct)}{Co} \times 100\%$$

keterangan :

Ef : efektivitas varietas tumbuhan

Co : konsentrasi awal sampel

Ct : konsentrasi akhir sampel

- c. Analisis data penurunan kadar Cd (Cadmium) dan pengolahannya menggunakan analisa statistik dengan

menggunakan aplikasi software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

1. Uji Normalitas

Uji ini dilakukan untuk mengetahui sebaran data acak suatu sampel. Singgih Santoso (2016) menyatakan dasar pengambilan keputusan bisa dilakukan berdasarkan probabilitas (Asymtotic Significant), yaitu:

- a. Jika Probabilitas > 0.05 maka distribusi dari populasi adalah normal.
- b. Jika Probabilitas < 0.05 maka populasi tidak berdistribusi secara normal.

2. Uji ANOVA (*Two Way*)

Didasarkan pada hipotesis sebagai berikut:

H1 : Terdapat pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap kadar Cadmium (Cd) pada limbah cair batik Kebumen.

H_0 : Tidak terdapat pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L terhadap kadar cadmium (Cd) pada limbah cair batik Kebumen.

Berdasarkan hipotesis tersebut, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut:

- a. Jika nilai $p < 0.05$, maka H_0 diterima, artinya ada perbedaan yang signifikan antara kelompok perlakuan dengan parameter yang diamati.
- b. Jika nilai $p > 0.05$, maka H_0 ditolak karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara kelompok dengan parameter yang diamati.

3. Uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*)

Apabila hasil yang diperoleh adalah signifikan, maka dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*). Uji

dilakukan untuk mengetahui beda nyata di setiap perlakuan yang diberikan dengan taraf 5%.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Hasil

1. Uji Pendahuluan Kandungan Logam Limbah Pencucian Pewarnaan Batik Cap Kebumen

Air limbah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari UMKM Zahra Batik yang terletak di desa Gemeksekti, Kebumen. Air limbah diambil satu kali pada proses aliran produksi dimasukan dalam satu wadah. Limbah yang diambil adalah limbah sisa produksi batik cap. Proses produksi batik cap menghasilkan dua jenis limbah cair yaitu limbah pencucian pewarnaan dan limbah pelorodan. Limbah pencucian pewarnaan diduga lebih berbahaya daripada limbah pelorodan, hal tersebut berdasarkan fisik limbahnya. Warna limbah pewarnaan lebih pekat daripada limbah pelorodan, pernyataan tersebut menjadi dasar peneliti mengambil sampel limbah pencucian pewarnaan.

Limbah pencucian pewarnaan mengandung logam sulit terdegradasi secara alami, logam yang terkandung yaitu Zn, Cu, Pb, Cd, dan Cr yang berasal dari zat pewarna pada proses pewarnaan (Rachmatiah, 2010). Batik cap menggunakan pewarna sintetis berjenis remazole. Uji pendahuluan

kandungan logam limbah pencucian pewarnaan batik dilakukan untuk mengetahui kandungan awal logam sebelum dilakukan pemaparan fitoremediasi. Hasil uji dapat dilihat dari Tabel 4.1

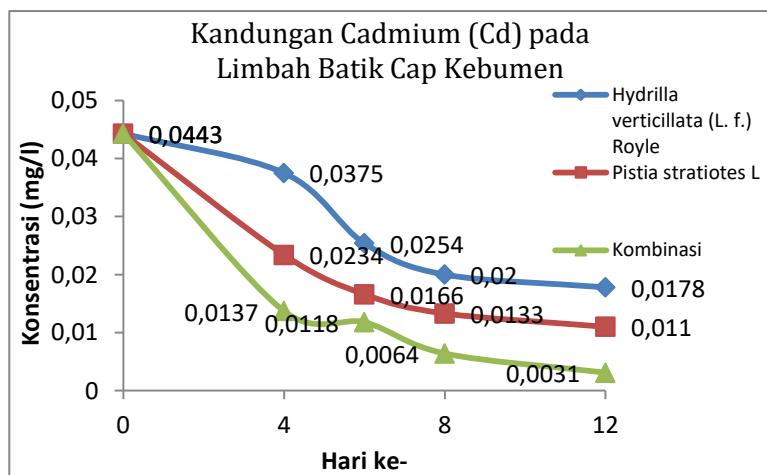
Tabel 4.1 Hasil Uji Awal Sampel Limbah Batik Cap Kebumen (UMKM Zahra Batik)

Parameter	Baku Mutu	Sampel Limbah Cair Batik Cap
Cu	2 mg/L	0,2376 mg/L
Mn	2 mg/L	0,5102 mg/L
Fe	5 mg/L	1,1955 mg/L
Zn	5 mg/L	0,1665 mg/L
Cd	0,05 mg/L	0,0022 mg/L
Cr	0,5 mg/L	0,0121 mg/L

Hasil analisis limbah batik cap Kebumen menyatakan tidak ada yang melebihi baku mutu. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu air limbah yang diatur Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 (Lampiran 4). Namun demikian, pada logam Cd memiliki hasil analisis mendekati ambang baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga logam tersebut berpotensi berbahaya untuk lingkungan. Pandia & Purba (2017), menyatakan logam yang berada dibawah baku mutu harus diwaspadai serta diperlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan lingkungan.

2. Hasil Analisis Kandungan Cd Setelah fitoremediasi Pada limbah batik cap Kebumen

Pengujian kandungan cadmium (Cd) dilakukan sebanyak 2 kali, hal ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi Cd sebelum dan sesudah fitoremediasi. Pemaparan fitoremediasi dilakukan dengan 2 pengaruh yaitu pengaruh lamanya pemaparan selama 4, 6, 8, dan 12 serta pengaruh jenis tumbuhan yaitu *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, dan Kombinasi. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan hasil analisis dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Agen Fitoremediator Terhadap Kandungan Cd pada Limbah Batik

Tabel 4.2 Kandungan Logam Cadmium (Cd) pada dengan Agen Fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, terhadap Terhadap Limbah Cair Batik Cap Kebumen

Perlakuan	Ulangan (U)			Total	Penyerapan (%)
	Rata ²	Rata ²	Rata ²		
	U1	U2	U3		
S ₁ T ₁	0,0385	0,0371	0,037	0,0375 ^{dc}	15,34
S ₂ T ₁	0,0264	0,0260	0,0238	0,0254 ^{cc}	32,26
S ₃ T ₁	0,0204	0,0191	0,0204	0,0200 ^{bc}	21,25
S ₄ T ₁	0,0182	0,0172	0,017	0,0178 ^{ac}	11
S ₁ T ₂	0,0236	0,0237	0,0229	0,0234 ^{db}	47,17
S ₂ T ₂	0,0155	0,0163	0,0177	0,0166 ^{cb}	29,05
S ₃ T ₂	0,0133	0,0134	0,0130	0,0133 ^{bb}	19,87
S ₄ T ₂	0,0107	0,0116	0,0107	0,0110 ^{ab}	17,29
S ₁ T ₃	0,0122	0,0146	0,0141	0,0137 ^{da}	69,07
S ₂ T ₃	0,0145	0,0104	0,0103	0,0118 ^{ca}	13,86
S ₃ T ₃	0,0065	0,0066	0,0061	0,0064 ^{ba}	45,76
S ₄ T ₃	0,0032	0,0033	0,0027	0,0031 ^{aa}	51,56

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan signifikan pengaruh fitoremediasi terhadap berat basah tumbuhan.

Keterangan :

S₁ : Limbah cair batik 4 hari

S₂ : Limbah cair batik 6 hari

S₃ : Limbah cair batik 8 hari

S₄ : Limbah cair batik 12 hari

T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T₂ : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T₃ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle + *Pistia stratiotes* L

3. Pemaparan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi Terhadap limbah cair batik Kebumen

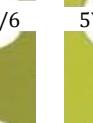
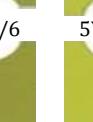
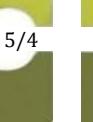
Pemaparan limbah dilakukan dengan baki berbentuk bulat dengan no 14, diameter 31 cm dengan tinggi 13 cm. Baki berisi limbah dengan perlakuan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi serta kontrol dengan pengulangan masing masing 3x. Pemaparan dilaksanakan selama 4, 6, 8, dan 12 hari. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik serta kandungan logam Cadmium (Cd) yang tersisa dalam air.

a. Pengamatan Fisik Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan Kombinasi

Sebelum dilakukan pengamatan fisik dilakukan aklimatisasi selama 7 hari menggunakan aquades 20 Liter dengan bantuan aerator guna untuk menambah oksigen serta di letakan pada cahaya yang cukup guna membantu tumbuhan fotosintesis. Aklimatisasi ini disebut juga massa adaptasi tumbuhan dengan lingkungan yang baru (Istighfari dkk, 2018).

Setelah tumbuhan dilakukan aklimatisasi selama 7 hari, tumbuhan dipilih dengan kriteria warna daun hijau muda dan memiliki ukuran yang sama. Jamil dkk, (2016) menyatakan tumbuhan yang efektif digunakan untuk fitoremediasi adalah tumbuhan muda. Ciri morfologi tumbuhan muda yaitu daun berwarna hijau muda. Selanjutnya tumbuhan di timbang dengan berat 50 gr serta di letakan pada perlakuan yang telah ditentukan dengan masing masing perlakuan tiga kali pengulangan. Pengamatan fisik tumbuhan dilakukan berdasarkan parameter warna daun, warna akar dan berat basah tumbuhan. Lama waktu pemaparan, tumbuhan diamati dalam waktu 0, 4, 6, 8 dan 12. Hasil pengamatan kondisi fisik tumbuhan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Pengamatan Warna daun agen fitoremediator perlakuan limbah

Kode	Waktu				
	Pra 5Y 6/6	S1 5Y 5/4	S2 5Y 5/4	S3 5Y 5/4	S4 5Y 5/4
T1(1)					
T1(2)					
T1(3)					
T2(1)					
T2(2)					
T2(3)					
T3(1) T1					

	T2	5Y 6/6	5Y 6/6	5Y 6/6	5Y 7/8	5Y 7/8
	T1	5Y 6/6	5Y 5/4	5Y 5/4	5Y 5/4	5Y 5/4
T(2)	T2	5Y 6/6	5Y 6/6	5Y 6/6	5Y 7/8	5Y 7/8
	T1	5Y 6/6	5Y 5/4	5Y 5/4	5Y 5/4	5Y 5/4
T3(3)	T2	5Y 6/6	5Y 6/6	5Y 6/6	5Y 7/8	5Y 7/8

Keterangan:

S₁ : Limbah cair batik 4 hari

S₂ : Limbah cair batik 6 hari

S₃ : Limbah cair batik 8 hari

S₄ : Limbah cair batik 12 hari

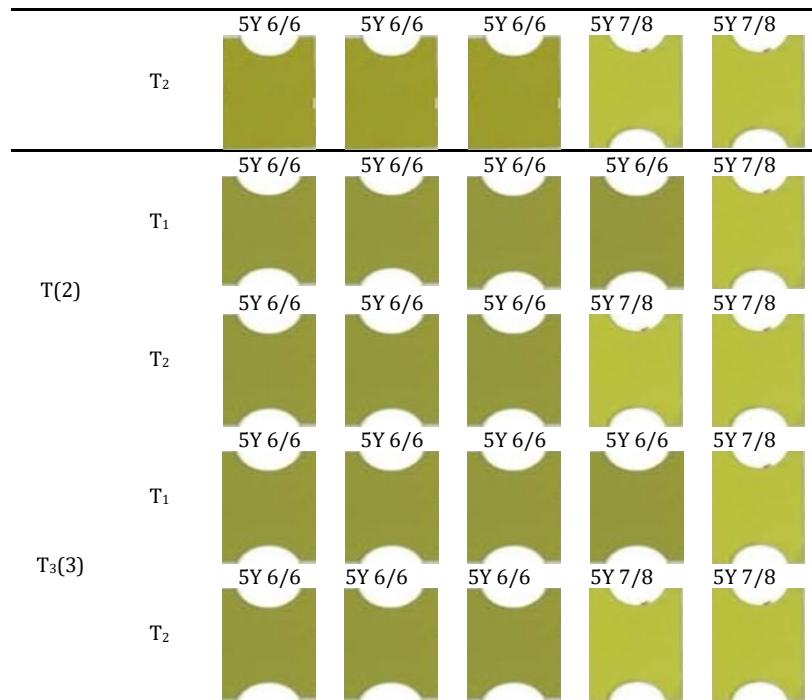
T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T₂ : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T₃ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

Tabel 4.4 Pengamatan Warna daun agen fitoremediator perlakuan kontrol

Kode	Waktu				
	Pra 5Y 6/6	S ₀ (A) 5Y 6/6	S ₀ (B) 5Y 6/6	S ₀ (C) 5Y 6/6	S ₀ (D) 5Y 7/8
T ₁ (1)					
T ₁ (2)					
T ₁ (3)					
T ₂ (1)					
T ₂ (2)					
T ₂ (3)					
T ₃ (1)					
T ₁					



Keterangan :

S₀ : Air Aquades

A : Pemaparan 4 hari

B : Pemaparan 6 hari

C : Pemaparan 8 hari

D : Pemaparan 12 hari

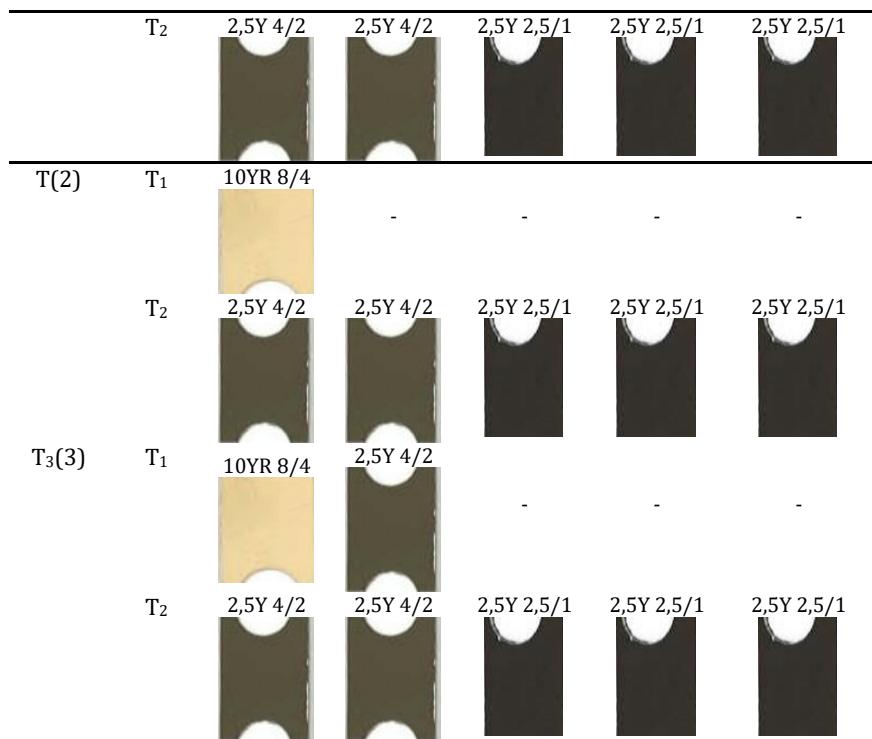
T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T₂ : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T₃ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

Tabel 4.5 Pengamatan Warna akar agen fitoremediator perlakuan limbah

Kode	Waktu				
	Pra	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T ₁ (1)	10YR 8/4	2,5Y 4/2	-	-	-
T ₁ (2)	10YR 8/4	2,5Y 4/2	-	-	-
T ₁ (3)	10YR 8/4	2,5Y 4/2	-	-	-
T ₂ (1)	2,5Y 4/2	2,5Y 4/2	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1
T ₂ (2)	2,5Y 4/2	2,5Y 4/2	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1
T ₂ (3)	2,5Y 4/2	2,5Y 4/2	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1
T ₃ (1) T ₁	10YR 8/4	2,5Y 4/2	-	-	-



Keterangan:

S₁ : Limbah cair batik 4 hari

S₂ : Limbah cair batik 6 hari

S₃ : Limbah cair batik 8 hari

S₄ : Limbah cair batik 12 hari

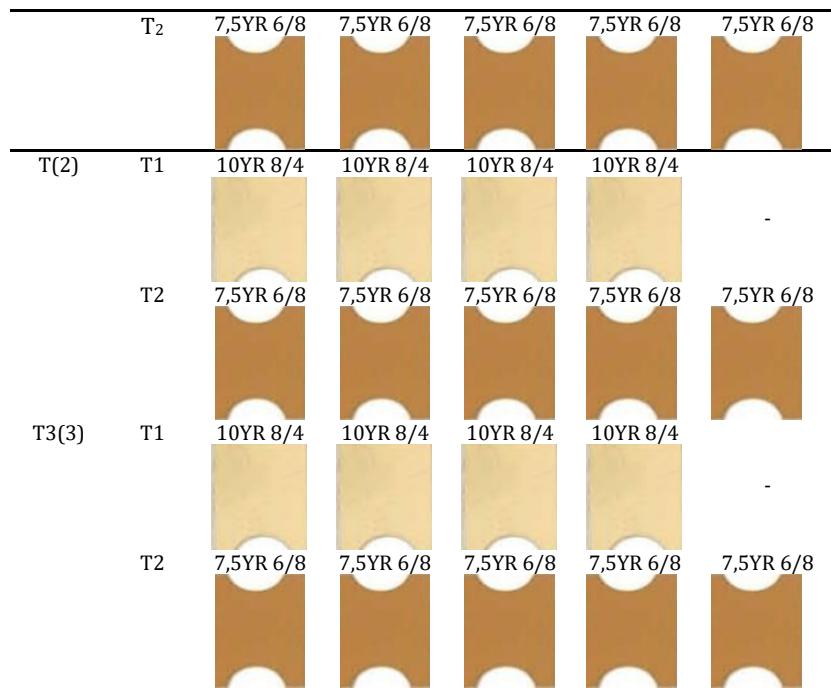
T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T₂ : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T₃ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

Tabel 4. 6 Pengamatan Warna akar agen fitoremediator perlakuan kontrol

Kode	Waktu				
	Pra	S ₀ (A)	S ₀ (B)	S ₀ (C)	S ₀ (D)
T ₁ (1)	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	-
T ₁ (2)	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	-
T ₁ (3)	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	-
T ₂ (1)	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8
T ₂ (2)	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8
T ₂ (3)	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8
T ₃ (1) T ₁	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	10YR 8/4	-



Keterangan :

S_0 : Air Aquades

A : Pemaparan 4 hari

B : Pemaparan 6 hari

C : Pemaparan 8 hari

D : Pemaparan 12 hari

T_1 : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T_2 : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T_3 : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

Tabel 4. 7 Pengamatan berat basah agen fitoremediator perlakuan limbah

Perlakuan	Ulangan (U)			Rata-rata (gr)
	U1	U2	U3	
S ₁ T ₁	45	42	48	45
S ₂ T ₁	35	29	31	32
S ₃ T ₁	27	25	21	24
S ₄ T ₁	7	13	12	11
<hr/>				
S ₁ T ₂	42	39	26	36
S ₂ T ₂	29	38	27	31
S ₃ T ₂	27	20	15	21
S ₄ T ₂	12	4	7	18
<hr/>				
S ₁ T ₃	49	33	55	46
S ₂ T ₃	28	33	42	34
S ₃ T ₃	23	29	9	20
S ₄ T ₃	15	14	7	12

Keterangan:

S₁ : Limbah cair batik 4 hari

S₂ : Limbah cair batik 6 hari

S₃ : Limbah cair batik 8 hari

S₄ : Limbah cair batik 12 hari

T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T₂ : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T₃ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

Tabel 4. 8 Pengamatan berat basah agen fitoremediator perlakuan kontrol

Perlakuan	Ulangan (U)			Rata-rata (gr)
	U1	U2	U3	
S ₀ T ₁ (A)	34	40	46	40 ^{bc}
S ₀ T ₁ (B)	29	36	37	34 ^{bb}
S ₀ T ₁ (C)	30	53	47	43 ^{bba}
S ₀ T ₁ (D)	33	38	35	35 ^{ba}
S ₀ T ₂ (A)	49	59	43	50 ^{ac}
S ₀ T ₂ (B)	29	38	27	31 ^{ab}
S ₀ T ₂ (C)	24	35	29	29 ^{abc}
S ₀ T ₂ (D)	19	15	14	16 ^{aa}
S ₀ T ₃ (A)	54	46	50	50 ^{cc}
S ₀ T ₃ (B)	51	37	44	44 ^{cb}
S ₀ T ₃ (C)	66	37	47	50 ^{cba}
S ₀ T ₃ (D)	43	33	32	36 ^{ca}

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan signifikan pengaruh kontrol terhadap berat basah tumbuhan.

Keterangan :

S₀ : Air Aquades

A : Pemaparan 4 hari

B : Pemaparan 6 hari

C : Pemaparan 8 hari

D : Pemaparan 12 hari

T₁ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

T₂ : Tumbuhan *Pistia stratiotes* L

T₃ : Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle +
Pistia stratiotes L

B. Pembahasan

1. Analisis Efektivitas Agen Fitoremediator terhadap kadar Cadmium (Cd)

Limbah pencucian pewarnaan batik cap sebelum pemaparan fitoremediasi dilakukan uji awal menurut SNI 6989.84-2019: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara spektrofotometri serapan atom. Hasil analisa menunjukkan tidak ada logam yang melebihi baku mutu (Tabel 4.1). Logam cadmium (Cd) memiliki konsentrasi 0,0443 mg/L, sedangkan baku mutu logam cadmium yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 memiliki nilai 0,05 mg/L (Lampiran 4). Konsentrasi cadmium 0,0443 mg/L dalam limbah cair batik berpotensi berbahaya bagi makhluk hidup jika terakumulasi dalam lingkungan. Hal tersebut diperkuat oleh penelitian yang telah dilakukan Roza & Muhelni (2019) dalam logam cadmium memiliki sifat toksik bagi makhluk hidup, diketahui logam cadmium yang terakumulasi dalam makhluk hidup mengakibatkan dampak pada udang (crustacea) mengalami kematian dalam selang waktu 24 - 504 jam pada air yang terlarut logam cadmium sebesar 0.005-0.15

mg/L. Logam Cadmium juga berdampak bagi manusia. Penelitian Mulyasari & Mukono (2016) bahwasannya diketahui konsentrasi cadmium 0,0029 mg/L. Konsentrasi tersebut diatas baku mutu yang ditetapkan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010 yaitu sebesar 0,003 mg/L. Dampak dari mengonsumsi air yang mengandung logam berat cadmium dalam jangka panjang dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti gangguan pada ginjal, hati, sistem reproduksi, dan tulang.

Adanya kandungan logam cadmium pada limbah pencucian pewarnaan pada limbah batik cap Kebumen, berasal dari proses pencucian pewarnaan batik cap bersumber dari pewarna remazole, *water glass* dan air pencucian yang bersumber dari air tanah (sumur bor). Konsentrasi logam cadmium (Cd) pada limbah pencucian pewarnaan batik cap Kebumen diteliti melalui pengaruh agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, dan kombinasinya serta lama waktu pemaparan 4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari.

Kandungan logam cadmium (Cd) setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-4 (S_1) mengalami penurunan pada setiap agen fitoremediator. Kandungan awal logam cadmium sebelum perlakuan memiliki nilai 0,0443 mg/L. Setiap baki yang berisi limbah batik dengan perlakuan agen fitoremediator setelah diambil 100 ml sampel limbah batik dengan 3 kali pengulangan melalui 3 agen fitoremediator menunjukan hasil rata rata pada perlakuan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) 0,0375 mg/L. Sedangkan, pada perlakuan *Pistia stratiotes* L (T_2) menunjukan hasil rata rata 0,0234 mg/L. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) menunjukan hasil rata rata 0,0137 mg/L.

Berdasarkan tabel 4.2 pada hari ke-4 (S_1) agen fitoremediator dengan presentase penyerapan tertinggi sebesar 69,07% pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3). Perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki kandungan logam cadmium (Cd) dalam air paling sedikit daripada agen fitoremediator lain. Kandungan logamnya sebesar 0,0137 mg/L, dengan kadar awal logam sebesar 0,0443 mg/L. Hal tersebut menandakan

tumbuhan kombinasi mampu menyerap >50% logam cadmium (Cd) dari kadar awal sebelum perlakuan fitoremediasi. Hal tersebut membuktikan tumbuhan kombinasi sedang optimal dalam penyerapan. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian Laili (2020) bahwa kemampuan tumbuhan pada awal percobaan dalam menyerap logam berat masih sangat tinggi hal tersebut membuktikan tumbuhan mampu menyerap dan mengakumulasikan logam berat ke dalam jaringan akar dan daun.

Kandungan logam cadmium (Cd) pada perlakuan hari ke-6 (S_2) mengalami penurunan pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki yang berisi limbah batik dengan perlakuan agen fitoremediator setelah diambil 100 ml sampel limbah batik dengan 3 kali pengulangan melalui 3 agen fitoremediator menunjukkan hasil rata rata perlakuan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) 0,0254 mg/L. Selanjutnya, pada perlakuan *Pistia stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 0,0118 mg/L. Sedangkan, pada tumbuhan kombinasi (T_3) menunjukkan hasil rata rata 0,0137 mg/L.

Berdasarkan tabel 4.2 pada hari ke-6 (S_2) agen fitoremediator dengan penyerapan tertinggi sebesar 32,26% pada perlakuan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle. Perlakuan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle memiliki kandungan logam cadmium (Cd) dalam air paling sedikit daripada agen fitoremediator lain. Kandungan logamnya sebesar 0,0254 mg/L. Sedangkan pada hari ke-4 (S_1) kadar logam cadmium sebesar 0,0375 mg/L dengan presentase penyerapan 15,34%. Hal tersebut menandakan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle memiliki peningkatan penyerapan logam dari perlakuan hari ke-4 (S_1). Hal tersebut diduga *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle mengalami *metal indicator*, yang mana *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle mentoleransi keberadaan konsentrasi logam dengan menghasilkan senyawa pengikat logam dan menyimpan logam kedalam tubuhnya (Mutmainnah, 2015). Mekanisme metal indicator terbagi menjadi fitoekstraksi, fitovolatisasi, Rizofiltrasi dan fitotabilisasi.

Kandungan logam cadmium (Cd) pada perlakuan hari ke-8 (S_3) mengalami penurunan

pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki yang berisi limbah batik dengan perlakuan agen fitoremediator dengan 3 kali pengulangan melalui 3 agen fitoremediator menunjukan hasil rata rata perlakuan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) sebesar 0,02 mg/L. Sedangkan perlakuan *Pistia stratiotes* L (T_2) memiliki kadar logam dengan rata rata 0,0133 mg/L. Sedangkan pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) menunjukan hasil rata rata 0,0064 mg/L.

Berdasarkan tabel 4.2 pada hari ke-8 (S_3) agen fitoremediator dengan penyerapan tertinggi sebesar 45,76% pada perlakuan tumbuhan kombinasi. Perlakuan tumbuhan kombinasi memiliki kandungan logam cadmium (Cd) dalam air paling sedikit daripada agen fitoremediator lain. Kandungan logamnya sebesar 0,0064 mg/L. Sedangkan pada hari ke-6 (S_2) kadar logam cadmium sebesar 0,0137 mg/L dengan presentase penyerapan 13,86%. Tumbuhan kombinasi memiliki peningkatan penyerapan dari perlakuan sebelumnya yaitu pada hari ke-6 memiliki nilai 13,86% meningkat menjadi 45,76%. Hal tersebut disebabkan tumbuhan masih optimal dalam

penyerapan logam. Tumbuhan kombinasi lebih optimal dalam menurunkan polutan disebabkan terdapat kedua tumbuhan hiperakumulator yang sama-sama memiliki kemampuan untuk menyerap logam yang disatukan dalam satu tempat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Ramadhani & Juswardi, (2022) menyatakan tumbuhan kombinasi (*S. molesta* dan *E. Crassipes*) merupakan kolaborasi sinergis kedua tumbuhan memberikan hasil yang signifikan dalam penurunan Pb sebesar 85,12-85,82% daripada tumbuhan tunggal sebesar 81,71-82,10%, kombinasi tersebut lebih efektif dalam proses fitoremediasi limbah cair.

Kandungan logam cadmium (Cd) pada perlakuan hari ke-12 (S_4) mengalami penurunan pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki yang berisi limbah batik dengan agen fitoremediator setelah diambil 100 ml sampel limbah batik dengan 3 kali pengulangan melalui 3 agen fitoremediator menunjukkan hasil rata-rata perlakuan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) 0,0178 mg/L. Sedangkan, pada perlakuan *Pistia stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata-rata 0,0110 mg/L dan tumbuhan kombinasi (T_3) mengalami penurunan

kadar logam cadmium dengan rata rata 0,0031 mg/L.

Berdasarkan tabel 4.2 pada hari ke-12 (S_4) agen fitoremediator dengan penyerapan tertinggi sebesar 51,56% pada tumbuhan kombinasi. Perlakuan tumbuhan kombinasi memiliki kandungan logam cadmium (Cd) dalam air paling sedikit daripada agen fitoremediator lain. Kandungan logamnya sebesar 0,0031 mg/L. Sedangkan pada hari ke-8 (S_3) kadar logam cadmium (Cd) sebesar 0,0064 mg/L dengan presentase penyerapan 45,76%. Tumbuhan kombinasi memiliki peningkatan penyerapan dari perlakuan sebelumnya yaitu pada hari ke-8 memiliki nilai 45,76% menjadi 51,56%. Hal tersebut disebabkan tumbuhan masih optimal dalam penyerapan limbah. Mengkombinasikan tumbuhan yang memiliki sifat hiperakumulator dengan kemampuan dalam menyerap kontaminan dalam air menghasilkan hasil yang lebih signifikan daripada non kombinasi. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Savira & Fitrihidajati (2024) bahwasannya tumbuhan kombinasi dengan tumbuhan (*Eichornia crassipes* dan *Pistia stratiotes*)

mampu menurunkan kadar Zn pada media tanam. Tumbuhan kombinasi merupakan kolaborasi sinergis yang memberikan hasil signifikan, kombinasi tersebut lebih efektif dalam proses fotoremediasi limbah cair. Untuk mengetahui adanya perbedaan penurunan kadar cadmium (Cd) dengan pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) dan pengaruh agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) dilakukan analisa statistik menggunakan Two Way Anova. Sebelum dilakukannya uji Two Way Anova terdapat uji normalitas untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas (Lampiran 6). Uji normalitas ini berdasarkan jenis agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) terhadap pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) yang ditentukan. Uji normalitas pada setiap agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) memiliki nilai $0,110 > 0,05$ artinya keempat perlakuan dengan pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) terdistribusi normal dan memenuhi syarat untuk

uji beda atau uji Anova dengan dua pengaruh (*Two Way*).

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan *Two Way Anova* (Lampiran 6) dari perlakuan pemaparan 4 hari (S_1), 6 hari (S_2), 8 hari (S_3) dan 12 hari (S_4) serta agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, dan tumbuhan kombinasi menghasilkan nilai yang signifikan pengaruh fitoremediasi terhadap kadar cadmium (Cd). Nilai signifikan menunjukkan angka $0,00 < 0,05$. Berdasarkan data tersebut menunjukkan nilai yang tidak lebih dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa fitoremediasi menggunakan agen fitoremediator H0 ditolak dan H1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pemaparan serta agen fitoremediator berpengaruh signifikan terhadap penurunan logam cadmium (Cadmium) pada limbah cair batik cap kebumen. Penelitian dengan pengaruh lama waktu kontak, mengakibatkan berkurangnya logam cadmium pada limbah batik cap Kebumen pada setiap harinya. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Zamhar dan Dewi (2015) yang menyatakan pengaruh waktu tumbuhan terpapar berbanding

lurus dengan kadar logam dalam air. Semakin lama waktu kontak semakin sedikit logam yang terkandung di dalam air. Selain pengaruh kontak waktu, pengaruh agen fitoremediator menyebabkan perbedaan nilai konsentrasi cadmium (Cd) yang tertinggal dalam air. Setelah diketahui terdapat pengaruh pada perlakuan, dilakukan uji lanjutan yaitu uji DMRT(Lampiran 6).

Uji DMRT untuk mengetahui beda nyata dari setiap perlakuan, diketahui perlakuan waktu dan tumbuhan berpengaruh nyata terhadap konsentrasi Cd hal ini berdasarkan hasil uji DMRT yang mana tidak ada nilai yang masuk dalam subset yang sama, artinya setiap waktu dan tumbuhan memiliki hasil yang berbeda pada kadar cadmium. Perlakuan dengan hari ke-12 menghasilkan nilai konsentrasi Cd lebih rendah dibandingkan perlakuan hari sebelumnya. Semakin lama waktu pemaparan semakin kecil konsentrasinya. Pada jenis tumbuhan, tumbuhan kombinasi paling efektif hal tersebut dikarenakan nilai konsentrasi Cd paling rendah, berbeda dengan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle memiliki nilai konsentrasi Cd yang besar.

Penelitian dengan pengaruh waktu mengakibatkan berkurangnya logam cadmium pada limbah batik cap hal tersebut sejalan dengan penelitian Zamhar dan Dewi (2015) menyatakan pengaruh lama waktu tumbuhan terpapar berbanding lurus dengan nilai konsentrasi cadmium yang tertinggal dalam air. Sedangkan dengan tumbuhan yang berbeda mengakibatkan nilai logam yang berbeda pada setiap perlakuan agen fitoremediasi. Hal tersebut disebabkan perbedaan kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam berat dapat disebabkan adanya perbedaan serangkaian proses fisiologis dan biokimiawi serta ekspresi gen yang mengendalikan penyerapan, akumulasi dan toleransi tanaman terhadap logam (Hidayati, 2013). Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yakni, Penyerapan logam oleh akar, Translokasi logam dari akar menuju bagian tumbuhan lain, dan Lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme (Eko Purnomo *et al.*, 2023).

Agen fitoremediator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle

dan *Pistia stratiotes* L. Agen fitoremediator tersebut merupakan tumbuhan gulma yang bersifat tumbuhan hipertoleran dan hiperakumulator serta dapat mengakumulasi logam cadmium. Hal tersebut dibuktikan pada penelitian ini, bahwasanya logam cadmium (Cd) mengalami penurunan pada setiap perlakuan agen fitoremediator. Mangkoedihardjo (2010) menyatakan penurunan konsentrasi logam diakibatkan oleh proses penguraian yaitu fitoekstraksi, fitodegradasi dan fitovolatilisasi.

Akumulasi logam yang digunakan *Hydrilla verticillata* (L. f.) yaitu fitodegradasi. Mekanisme fitodegradasi kerjanya yaitu diakumulasi pada jaringan terutama pada akar yaitu melalui zona akar tumbuhan melalui sekresi enzim yang mendegradasi zat beracun. Sedangkan *Pistia stratiotes* L mengakumulasi logam berat dengan jenis penyerapan fitoekstraksi dan rhizofiltrasi. Fitoekstraksi merupakan proses dimana tumbuhan menarik zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar. Salah satu proses yang penting dalam fitoremediasi adalah rhizofiltrasi. Rhizofiltrasi merupakan proses dimana zat

kontaminan diendapkan oleh akar dengan bantuan zat pengkhelat (Utami dkk., 2017).

2. Pengamatan Kondisi Fisik Agen Fitoremediator

a. Morfologi Warna Daun

Pengamatan warna daun dilakukan selama pemaparan pada hari ke-4, hari ke-6, hari ke-8 dan hari ke-12 pada perlakuan limbah batik dan perlakuan kontrol dengan mengamati perubahan warna daun *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1), *Pistia stratiotes* L (T_2), dan kombinasi (T_3) secara visual menggunakan instrumen munsell.

Pengamatan warna daun akibat pemaparan limbah batik tertera pada tabel 4.3 menunjukkan adanya perubahan warna setelah dilakukan proses fitoremediasi dengan lama kontak waktu pada setiap agen fitoremediator.

Perlakuan hari ke-4 (S_1) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna daun yang berbeda. Kondisi warna daun diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) mengalami perubahan warna daun yang dibuktikan pada

pra fitoremediasi, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) memiliki kode warna 5Y 6/6 yang memiliki makna kuning kehijauan. Sedangkan pada hari ke-4 (S_1) terjadi perubahan warna daun berubah menjadi hijau tua kekuningan yang memiliki kode 5Y 5/4 dengan kondisi segar. Sedangkan pada *Pistia stratiotes* L (T_2) tidak mengalami perubahan warna. Hal tersebut dibuktikan pada pra fitoremediasi dan hari ke-4 (S_1) memiliki kode warna yang sama yaitu 5Y 6/6 yang memiliki arti kuning kehijauan. Selanjutnya, pada tumbuhan kombinasi (T_3) mengalami perubahan yang sama dengan tumbuhan non kombinasi baik pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-6 (S_2) setiap agen fitoremediator tidak mengalami perubahan warna dari hari ke-4 (S_1) dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle tidak terjadi perubahan warna dari perlakuan sebelumnya. Hal tersebut terbukti pada hari ke-4 (S_1) dan hari ke-6 (S_2) memiliki warna hijau tua kekuningan dengan

kode warna 5Y 5/4. Sedangkan pada agen *Pistia stratiotes* L tidak memiliki perubahan warna. Hal tersebut dibuktikan pada hari ke-4 (S_1) dan hari ke-6 (S_2) memiliki warna kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6. Sedangkan pada tumbuhan kombinasi (T_3) tidak terjadi perubahan warna dengan non kombinasi. Hal tersebut dibuktikan pada hari ke-4 (S_1) memiliki warna hijau tua kekuningan dengan kode warna 5Y 5/4 pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Agen fitoremediator *Pistia stratiotes* L tidak terjadi perubahan daun. Hal tersebut dibuktikan pada hari ke-4 (S_1) dan hari ke-6 (S_2) memiliki warna kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6. Semakin lama waktu kontak, morfologi tumbuhan terjadi perubahan.

Perlakuan hari ke-8 (S_3) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna daun yang berbeda. Kondisi warna daun diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) tidak mengalami perubahan dari hari ke-6 (S_2). Hal tersebut terbukti pada hari ke-4 (S_1) dan hari ke-6 (S_2)

memiliki warna hijau tua kekuningan dengan kode warna 5Y 5/4. Selanjutnya, *Pistia stratiotes* L (T₂) mengalami perubahan dari hari ke-6 (S₂). Terjadi perubahan warna menjadi kuning yang memiliki kode munsell 5Y 7/8. Sedangkan pada tumbuhan kombinasi (T₃) terjadi perubahan warna daun pada *Pistia stratiotes* L mengalami perubahan dari hari ke-6 (S₂). Terjadi perubahan warna menjadi kuning yang memiliki kode munsell 5Y 7/8. Sedangkan pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle tidak terjadi perubahan warna daun yang memiliki warna hijau tua kekuningan dengan kode warna 5Y 5/4.

Perlakuan hari ke-12 (S₄) setiap agen fitoremediator tidak mengalami perubahan warna dari hari ke-8 (S₃) dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T₁) memiliki kode warna 5Y 5/4 dengan arti hijau tua kekuningan. Selanjutnya, *Pistia stratiotes* L (T₂) memiliki warna daun kuning dengan kode 5Y 7/8. Sedangkan tumbuhan kombinasi (T₃) memiliki warna daun yang sama dengan non kombinasi

baik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Setiap agen fitoremediator mengalami perubahan warna yang berbeda baik *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L. Kedua agen tersebut memiliki warna hijau kekuningan dengan kode munsell 5Y 6/6. Perlakuan hari ke-12 merupakan perlakuan terakhir dalam pemaparan yang mengakibatkan mengalami perubahan warna yang signifikan dari kondisi pra fitoremediasi. Hal tersebut menandakan pemaparan logam mempengaruhi morfologi. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian Laili, (2020) yang menyatakan perubahan morfologi tumbuhan sebagai agen fitoremediator disebabkan tumbuhan tersebut telah aktif menyerap logam berat yang ada dilingkungan. Perubahan daun dikarenakan terjadinya klorosis. Terjadinya klorosis secara umum dapat diakibatkan berkurangnya mineral yang dibutuhkan untuk produksi klorofil seperti Fe, Mg dan N atau cekaman eksternal yang diakibatkan logam berat (Manara, 2012). Logam cd merupakan logam non esensial yang tidak

dibutuhkan pada tumbuhan seperti pada produksi klorofil. Pada produksi klorofil terjadi perebutan transporter antara Cd dengan mineral (Fe, Mg dan N) pembentuk klorofil yang mengakibatkan terjadinya klorosis (Rosidah *et al.*, 2014). Hal tersebut sejalan dengan penelitian Jamil, *et al.* (2016) yang menyatakan tumbuhan mengalami klorosis dengan berubahnya warna daun semula hijau menjadi kuning layu. Klorosis terjadi disebabkan logam berat menghambat kerja enzim yang mengkatalis sintesis klorofil. Selain itu tumbuhan berada pada kondisi lingkungan yang kurang nutrisi.

Selanjutnya setiap agen fitoremediator memiliki perlakuan kontrol yang berisi aquades. Perlakuan kontrol berfungsi untuk membandingkan perubahan morfologi tumbuhan pada kondisi normal dengan kondisi terpapar polutan. Pada kondisi kontrol warna daun mengalami perubahan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Perlakuan hari ke-4 ($S_0(A)$) setiap agen fitoremediator tidak memiliki perubahan warna

daun dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) tidak memiliki perubahan warna. Hal tersebut dibuktikan pada pra fitoremediasi memiliki kode warna 5Y 6/6 yang memiliki arti kuning kehijauan. Fenomena tersebut terjadi juga pada *Pistia stratiotes* L (T_2) yang tidak memiliki perubahan warna pada hari ke-4 ($S_0(A)$) yang memiliki warna kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6. Pada tumbuhan kombinasi (T_3) juga memiliki kondisi yang sama dengan tumbuhan non kombinasi, baik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-6 ($S_0(B)$) setiap agen fitoremediator tidak mengalami perubahan warna daun dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) tidak memiliki perubahan warna. Hal tersebut dibuktikan pada hari ke-4 ($S_0(A)$) memiliki kode warna 5Y 6/6 yang memiliki arti kuning kehijauan. Fenomena tersebut terjadi juga pada *Pistia stratiotes* L (T_2) yang tidak mengalami perubahan warna pada

hari ke-6 ($S_0(B)$). Sementara pada tumbuhan kombinasi memiliki kondisi yang sama dengan non kombinasi baik *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-8 ($S_0(C)$) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna daun yang berbeda. Kondisi warna daun diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) tidak memiliki perubahan warna. Hal tersebut terbukti pada hari ke-6 ($S_0(B)$) dan hari ke-8 ($S_0(C)$) memiliki warna yang sama yaitu kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6. Sedangkan, *Pistia stratiotes* L (T_2) mengalami perubahan warna dari hari ke-6 ($S_0(B)$) menuju hari ke-8 ($S_0(C)$). Hal tersebut terbukti pada hari ke-6 ($S_0(C)$) memiliki warna kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6, sedangkan pada hari ke-8 memiliki warna kuning dengan kode munsell 5Y 7/8. Sementara pada tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki kondisi yang sama dengan non kombinasi baik *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-12 ($S_0(D)$) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna daun yang berbeda. Kondisi warna daun diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) memiliki perubahan warna dari hari ke-8 ($S_0(C)$). Hal tersebut terbukti pada hari ke-8 ($S_0(C)$) *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) memiliki warna hijau kekuningan dengan kode munsell 5Y 6/6 sedangkan hari ke-12 ($S_0(D)$) kuning yang memiliki kode munsell 5Y 7/8 yang memiliki arti kuning. Selanjutnya *Pistia stratiotes* L (T_2) tidak mengalami perubahan warna bahwasanya memiliki kode munsell 5Y 7/8 yang artinya kuning. Sedangkan pada tumbuhan kombinasi memiliki kondisi yang sama dengan non kombinasi baik *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Berdasarkan interpretasi data diatas terjadi perubahan warna pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle pada hari ke-12 sedangkan *Pistia stratiotes* L mengalami perubahan warna pada hari ke-8. Hal tersebut menandakan adanya

faktor lain yang menyebabkan perubahan warna. Diduga intensitas cahaya matahari mempengaruhi pembentukan klorofil. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Fauziah, *et al.*, (2019) bahwasanya Intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan, biomassa dan pembentukan klorofil. Hal ini diduga tempat pemaparan fitoremediasi tidak memiliki sumber cahaya yang cukup. Hal tersebut diperlukan adanya pengukuran intensitas cahaya pada setiap perlakuan pemaparan.

b. Morfologi Warna Akar

Pengamatan warna akar dilakukan selama pemaparan pada hari ke-4, hari ke-6, hari ke-8 dan hari ke-12 pada perlakuan kontrol dan perlakuan limbah batik dengan mengamati perubahan warna akar *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1), *Pistia stratiotes* L (T_2), dan kombinasi (T_3) secara visual menggunakan instrumen munsell.

Pengamatan warna akar akibat pemaparan limbah batik tertera pada tabel 4.3 menunjukkan adanya perubahan warna setelah dilakukan

proses fitoremediasi dengan lama kontak waktu pada setiap agen fitoremediator.

Perlakuan hari ke-4 (S_1) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna akar yang berbeda. Kondisi warna akar diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) mengalami perubahan warna akar yang dibuktikan pada pra fitoremediasi, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1) memiliki kode warna munsell 10YR 8/4 yang memiliki arti coklat pucat. Sedangkan pada hari ke-4 (S_1) terjadi perubahan menjadi coklat tua kehijauan dengan kode munsell 2,5Y 4/2. Selanjutnya pada *Pistia stratiotes* L tidak memiliki perubahan warna akar. Hal tersebut dibuktikan pada pra fitoremediasi dan hari ke-4 memiliki warna akar coklat tua kehijauan dengan kode munsell 2,5Y 4/2. Sedangkan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki perubahan warna yang sama dengan tumbuhan non kombinasi baik *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L, namun pada pengulangan 2 pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

mengalami kematian. Kematian akar disebut nekrosis. Kematian tersebut akibat cekaman logam, bahwasanya logam merusak jaringan. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian laili (2020) bahwasannya perubahan fisik tersebut dapat disebabkan karena konsentrasi logam yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan jaringan dalam sel akar. Hal ini biasa disebut dengan nekrosis.

Perlakuan hari ke-6 (S_2) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna akar yang berbeda. Kondisi warna akar diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mengalami kematian pada setiap pengulangannya. Selanjutnya pada *Pistia stratiotes* L mengalami perubahan warna akar yang memiliki kode 2,5Y 2,5/1 memiliki arti hitam. Sedangkan, pada tumbuhan kombinasi memiliki perubahan warna akar yang sama dengan non kombinasi baik pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-8 (S_3) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna akar yang sama. Kondisi warna akar diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mengalami kematian akar pada hari ke-6 (S_2). *Pistia stratiotes* L mengalami perubahan warna akar. Akar yang memiliki kode 2,5Y 2,5/1 memiliki arti hitam. Tumbuhan kombinasi memiliki perubahan warna akar yang sama dengan non kombinasi baik pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L tidak terjadi perubahan warna.

Perlakuan hari ke-12 (S_4) setiap agen fitoremediator mengalami kondisi warna akar yang sama dengan perlakuan hari ke-8 (S_3). Kondisi warna akar diamati pada agen fitoremediator dengan pengulangan sebanyak 3 kali. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mengalami kematian akar pada hari ke-6 (S_2). *Pistia stratiotes* L tidak mengalami perubahan warna akar. Akar yang memiliki kode 2,5Y 2,5/1 memiliki arti hitam. Pada tumbuhan kombinasi memiliki perubahan warna akar yang sama

dengan non kombinasi baik pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L tidak terjadi perubahan warna.

Hari ke-12 merupakan hari terakhir pengamatan. Tumbuhan mengalami perubahan warna akar yang signifikan pada *Pistia stratiotes* L yang mana pada pra fitoremediasi memiliki warna akar coklat tua kehijauan dengan kode munsell 2,5Y 4/2 pada *Pistia stratiotes* L. Hal tersebut menandakan pemaparan logam mempengaruhi morfologi. Pada hari ke-12 memiliki warna hitam. Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Laili, 2020). Sedangkan pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mengalami pembusukan dan memisahkan diri dari tubuhnya, hal tersebut dikarenakan cekaman logam cadmium yang mengakibatkan akar tumbuhan membusuk. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Onggo (2005) yang menyatakan kematian atau kerontokan akar tumbuhan disebabkan cekaman logam berat.

Selanjutnya setiap agen fitoremediator memiliki perlakuan kontrol yang berisi aquades. Perlakuan kontrol berfungsi untuk

membandingkan perubahan morfologi tumbuhan pada kondisi normal dengan kondisi terpapar polutan.

Perlakuan hari ke-4 ($S_0(A)$) setiap agen fitoremediator tidak memiliki perubahan warna akar dari pada pra fitoremediasi. Hal tersebut dibuktikan pada pra fitoremediasi dan Perlakuan hari ke-4 ($S_0(A)$) *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle memiliki kode warna 10YR 8/4 yang memiliki arti coklat pucat. Sedangkan *Pistia stratiotes* L (T_2) memiliki kode munsell 7,5YR 6/8 yang memiliki makna kuning kemerahan. Pada tumbuhan kombinasi (T_3) juga memiliki kondisi yang sama dengan tumbuhan non kombinasi, baik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-6 ($S_0(B)$) setiap agen fitoremediator tidak mengalami perubahan warna akar dari perlakuan hari ke-4 ($S_0(A)$) dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle memiliki kode warna 10YR 8/4 yang memiliki arti coklat pucat. Sedangkan *Pistia stratiotes* L (T_2) memiliki kode munsell 7,5YR 6/8 yang

memiliki makna kuning kemerahan. Pada tumbuhan kombinasi (T_3) juga memiliki kondisi yang sama dengan tumbuhan non kombinasi, baik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Perlakuan hari ke-8 ($S_0(C)$) setiap agen fitoremediator tidak mengalami perubahan warna akar dari perlakuan hari ke-6 ($S_0(B)$) dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle memiliki kode warna 10YR 8/4 yang memiliki arti coklat pucat. Sedangkan *Pistia stratiotes* L (T_2) memiliki kode munsell 7,5YR 6/8 yang memiliki makna kuning kemerahan. Pada tumbuhan kombinasi (T_3) juga memiliki kondisi yang sama dengan tumbuhan non kombinasi, baik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle maupun *Pistia stratiotes* L.

Pada hari ke- 12 *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle memisahkan diri dari batang (rontok). Sedangkan pistia tidak mengalami perubahan warna. Pada tumbuhan kombinsai memiliki kondisi yang sama dengan non kombinasi baik

Hydrilla verticillata (L.f.) Royle dan *Pistia stratiotes* L.

Hari ke-12 merupakan hari terakhir pengamatan. Tumbuhan tidak mengalami perubahan warna namun akar mengalami kerontokan. Hal tersebut disebabkan aquades merupakan air murni yang tidak berbahaya.

c. Berat Basah

Berat basah merupakan berat suatu tumbuhan pada proses fitoremediasi berlangsung dengan cara menimbang suatu tumbuhan (Megagupita *et al.*, 2024). Pengukuran berat basah bertujuan untuk memperoleh gambaran biomassa pertumbuhan tanaman. Pengamatan berat basah dilakukan selama pemaparan pada hari ke-4, hari ke-6, hari ke-8 dan hari ke-12 pada perlakuan limbah batik dan perlakuan kontrol dengan mengamati perubahan berat tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle (T_1), *Pistia stratiotes* L (T_2), dan kombinasi (T_3) menggunakan timbangan digital.

Pengamatan berat basah akibat pemaparan limbah batik tertera pada tabel 4.6 menunjukan

adanya perubahan berat setelah dilakukan proses fitoremediasi dengan lama kontak waktu pada setiap agen fitoremediator.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-4 (S_1) mengalami penurunan pada setiap agen fitoremediator. Berat basah awal setiap agen fitoremediator sebesar 50 gram. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil rata rata sebesar 45 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 36 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki rata rata berat 46 gram.

Berdasarkan tabel 4.6 berat basah tumbuhan *Pistia Stratiotes* L (T_2) mengalami penurunan berat basah paling banyak dari pada *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) dan Kombinasi (T_3). Penurunannya sebesar 14 gr. Hal tersebut disebabkan banyaknya daun yang

gugur serta akar yang rontok akibat penyerapan logam. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian Megagupita *et al.*, (2024) menyatakan penurunan berat basah tumbuhan disebabkan tumbuhan dapat menyerap polutan yang menyebabkan daun menjadi layu dan gugur.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-6 (S_2) mengalami perubahan dari perlakuan hari ke-4 (S_1) pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil rata rata sebesar 32 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 31 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki rata rata berat 34 gram.

Berdasarkan tabel 4.6 berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) mengalami penurunan berat basah paling banyak dari pada *Pistia Stratiotes* L (T_2) dan

Kombinasi (T_3). Penurunnya sebesar 13 gr. Hal tersebut disebabkan banyaknya daun yang gugur serta akar yang rontok akibat penyerapan logam yang sedang optimal. Hal tersebut dapat dibuktikan pada tabel 4.2 fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) memiliki penyerapan sebesar pada hari ke-6 daripada agen fitoremediator lainnya. Penyerapannya sebesar 32,266%.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-8 (S_3) mengalami perubahan dari perlakuan hari ke-6 (S_2) pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil rata rata sebesar 24 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 21 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki rata rata berat 20 gram.

Berdasarkan tabel 4.6 berat basah tumbuhan Kombinasi (T_3) mengalami penurunan berat basah paling banyak dari pada *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) dan *Pistia Stratiotes* L (T_2). Penurunanya sebesar 14 gr. Hal tersebut disebabkan banyaknya daun yang gugur serta akar yang rontok akibat penyerapan logam. Pernyataan tersebut terbukti berdasarkan tabel 4.2 bahwasannya pada hari ke-8 memiliki presentase penyerapan 45,76% sedangkan pada hari ke-6 sebesar 13,86%.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-12 (S_4) mengalami perubahan dari perlakuan hari ke-8 (S_3) pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil rata rata sebesar 11 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 18 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan

kombinasi (T_3) memiliki rata rata berat 12 gram.

Berdasarkan tabel 4.6 berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) mengalami penurunan berat basah paling banyak dari pada *Pistia Stratiotes* L (T_2) dan Kombinasi (T_3). Penurunanya sebesar sebesar 13 gr. Hal tersebut disebabkan banyaknya daun yang gugur serta akar yang rontok akibat penyerapan logam. Pernyataan tersebut sejalan dengan penelitian Megagupita *et al.*, (2024) menyatakan penurunan berat basah tumbuhan dapat disebabkan tumbuhan dapat menyerap polutan sehingga menyebabkan daun menjadi layu dan gugur.

Berdasarkan interpretasi data diatas berat basah mengalami penurunan setiap perlakuan harinya. Hal tersebut diduga tumbuhan memiliki kemampuan penyerapan logam pada setiap perlakuan hari sehingga logam yang berada pada jaringan tumbuhan semakin menumpuk pada setiap perlakuan harinya. Kemampuan agen fitoremediator dapat dilihat pada tabel 4.2 Pernyataan tersebut sejalan

dengan penelitian Soheti *et al.*, (2020) yang menyatakan biomassa tumbuhan dipengaruhi oleh konsentrasi logam yang mengakibatkan terganggunya pertumbuhan tumbuhan dan dapat menyebabkan penurunan biomassa yang disebabkan layu dan gugurnya daun serta kerontokan akar.

Untuk mengetahui adanya perbedaan berat basah dengan pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) dan pengaruh agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) dilakukan analisa statistik menggunakan *Two Way Anova*. Sebelum dilakukannya uji *Two Way Anova* terdapat uji normalitas untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada lampiran 6. Uji normalitas pada setiap agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) memiliki nilai $0,514 > 0,05$ artinya keempat perlakuan dengan pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) terdistribusi normal dan memenuhi syarat

untuk uji beda atau uji Anova dengan dua pengaruh (*Two Way*).

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan *Two Way Anova* (lampiran 6) dari perlakuan pemaparan 4 hari (S_1), 6 hari (S_2), 8 hari (S_3) dan 12 hari (S_4) serta agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, dan tumbuhan kombinasi menghasilkan nilai yang tidak signifikan pengaruh fitoremediasi terhadap kadar cadmium (Cd). Nilai signifikan menunjukkan angka $0,806 > 0,05$. Berdasarkan data tersebut menunjukkan nilai yang lebih dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa berat basah tidak mengalami perubahan yang signifikan terhadap proses fitoremediasi menggunakan agen fitoremediator sehingga H_1 ditolak dan H_0 diterima. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Soheti *et al.*, (2020) yang berjudul Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk menurunkan Kadar Torium hasil menunjukkan nilai 647,78 tingkat signifikansi pengujian (α) adalah 0,05. Dapat disimpulkan pada penelitian ini tidak ada

perbedaan signifikan dari berat basah sebuah agen fitoremediator.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-4 (S_1) mengalami perubahan pada setiap agen fitoremediator.

Selanjutnya setiap agen fitoremediator memiliki perlakuan kontrol yang berisi aquades. Perlakuan kontrol berfungsi untuk membandingkan perubahan berat basah tumbuhan pada kondisi normal dengan kondisi terpapar logam berat. Perubahan berat basah pada kontrol tertera pada tabel 4.7 menunjukkan adanya perubahan berat basah setelah perlakuan kontrol.

Berat basah awal setiap agen fitoremediator sebesar 50 gram. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil rata rata sebesar 40 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 50

gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki rata rata berat 50 gram.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-6 (S_0B) mengalami perubahan pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki berisi kontrol dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil rata rata sebesar 34 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T_2) menunjukkan hasil rata rata 41 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T_3) memiliki rata rata berat 44 gram.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-8 (S_0C) mengalami perubahan pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T_1) menunjukkan hasil

rata rata sebesar 43 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T₂) menunjukan hasil rata rata 29 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T₃) memiliki rata rata berat 50 gram.

Berat basah masing masing tumbuhan setelah fitoremediasi pada perlakuan hari ke-12 (S₀(D)) mengalami perubahan pada setiap agen fitoremediator. Setiap baki berisi limbah batik dengan 3 kali pengulangan dilakukan pengukuran berat basah menggunakan timbangan digital. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (T₁) menunjukan hasil rata rata sebesar 35 gram. Sedangkan pada perlakuan *Pistia Stratiotes* L (T₂) menunjukan hasil rata rata 16 gram. Sementara itu, pada perlakuan tumbuhan kombinasi (T₃) memiliki rata rata berat 36 gram.

Untuk mengetahui adanya perbedaan berat basah dengan pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) dan pengaruh agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) dilakukan analisa statistik menggunakan *Two Way Anova*.

Sebelum dilakukannya uji *Two Way Anova* terdapat uji normalitas untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada lampiran 6. Uji normalitas pada setiap agen fitoremediator (*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L dan kombinasi) memiliki nilai $0,825 > 0,05$ artinya keempat perlakuan dengan pengaruh hari (4 hari, 6 hari, 8 hari dan 12 hari) terdistribusi normal dan memenuhi syarat untuk uji beda atau uji Anova dengan dua pengaruh (*Two Way*).

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan *Two Way Anova* (Lampiran 6) dari perlakuan pemaparan 4 hari (S_0A), 6 hari (S_0B), 8 hari (S_0C) dan 12 hari (S_0D) serta agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, *Pistia stratiotes* L, dan tumbuhan kombinasi menghasilkan nilai yang signifikan pengaruh terhadap berat basah perlakuan kontrol. Nilai signifikan menunjukkan angka $0,043 < 0,05$. Berdasarkan data tersebut menunjukkan nilai yang kurang dari 0,05 sehingga dapat

disimpulkan bahwa berat basah tumbuhan berpengaruh terhadap perlakuan kontrol.

Setelah diketahui terdapat pengaruh pada perlakuan, dilakukan uji lanjutan yaitu uji DMRT (Lampiran 6). Uji DMRT untuk mengetahui bedanya dari setiap perlakuan, diketahui perlakuan kontrol berpengaruh terhadap berat basah.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan, serta hasil penelitian yang sudah dituliskan maka kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Fitoremediasi menggunakan agen fitoremediator berpengaruh signifikan terhadap penurunan kandungan cadmium (Cd) pada limbah cair batik cap dengan nilai signifikansi statistik $0,00 < 0,05$. Ke empat perlakuan waktu menunjukkan penurunan kandungan cadmium (Cd) dengan kandungan awal logam $0,0443 \text{ mg/L}$ serta kandungan akhir logam sebesar $0,0178 \text{ mg/L}$ Pada agen *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, serta pada *Pistia Stratiotes* L sebesar $0,011 \text{ mg/L}$ dan kombinasi sebesar $0,0031 \text{ mg/L}$.
2. Perubahan kondisi morfologi agen fitoremediator dalam meremediasi cadmium (Cd) pada Limbah batik menunjukkan gejala klorosis. Pada hari ke-12 mengalami perubahan warna daun dan akar yang signifikan pada setiap agen fitoremediator. Pada warna daun agen *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle berubah dari warna kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6 menjadi hijau tua kekuningan dengan warna munsell 5Y 5/4 sedangkan pada *Pistia Stratiotes* L berubah dari warna kuning kehijauan dengan kode munsell 5Y 6/6 menjadi kuning dengan kode

munsell 5Y 7/8. Sedangkan pada warna akar agen *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle berubah dari warna coklat pucat dengan kode munsell 10 YR 8/4 menjadi coklat tua kehijauan dengan kode munsell 2,5Y 4/2 sedangkan pada *Pistia Stratiotes* L berubah dari warna coklat tua kehijauan dengan kode munsell 2,5Y 4/2 menjadi hitam dengan kode munsell 2,5Y 2,5/1. Kemudian pada berat basah agen fitoremediator mengalami perubahan dengan awal berat basah 50gr menjadi 11 gr pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle sedangkan pada *Pistia Stratiotes* L menjadi 18 gr dan kombinasinya menjadi 12gr.

3. Agen fitoremediator memiliki efektivitas penyerapan cadmium (Cd) *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle sebesar 11 %, *Pistia Stratiotes* L sebesar 17,29%, dan kombinasinya sebesar 51,56%.

B. Saran

Berdasarkan terdapatnya beberapa keterbatasan pada penelitian yang telah dilakukan ini, maka saran untuk penelitian berikutnya, antara lain :

1. Perlu dilakukan pengembangan penelitian terhadap pengujian kandungan cadmium (Cd) pada agen fitoremediator, supaya hasil data menjadi lebih maksimal untuk mengetahui kemampuan agen fitoremediator dalam mengakumulasi logam cadmium (Cd) pada limbah batik cap.
2. Perlu adanya pengukuran logam pada proses menghilangkan lilin (Melorod), sehingga dapat mengetahui kadar logam yang mendominasi pada limbah cair batik cap Kebumen.
3. Perlu adanya pengukuran intensitas cahaya, suhu, pH agar data perubahan fisik morfologi tumbuhan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, C. A., Lestari, Y. D., & Purnomo, E. (2024). *Efektivitas Hydrilla verticillata (LF) Royle sebagai agen fitoremediasi pada air baku Sungai Kaligarang.* 10(1), 106–113.
- Agustina, Tuty E. and Badewasta, Herni (2009) *Pengolahan limbah cair industri batik cap khas Palembang dengan proses filtrasi dan adsorpsi.* In: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia. Institut Teknologi Bandung, Bandung. ISBN 978-979.98300-1-2
- Aken, B. Van, Correa, P. A., & Schnoor, J. L. (2010). *Phytoremediation of Polychlorinated Biphenyls: New Trends and Promises.* Environmental Science & Technology, 44(8), 2767–2776.
<https://doi.org/10.1021/es902514d>
- Alghaffar HN. 2016. *Phytoremediation of Chromium and Copper from aqueous solutions using Hydrilla verticillata.* Journal of Science. 57(1): 78-86.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). *Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications.* Chemosphere, 91(7), 869–881.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>

A, M. (2012). Plants responses in heavy metal toxicity. *Plants and heavy metals, SpringerBriefs in Biometals*, 27–53.

Amien, H.M., 2007, *Kajian Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn)pada Air, Sedimen, dan Makrozoo benthos di Perairan Waduk Cirata*, Provinsi Jawa Barat, Tesis, Program Pascasarjana IPB, Bogor.

Annisa, U. (2018). BATIK TULIS DENGAN PEWARNA REMAZOL DI HOME INDUSTRY CANDI. *e-craft*, Vol 7, No, 561–572.

Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N. V., Wenzel, W. W., & Rinklebe, J. (2017). *Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation-A review*. *Earth-Science Reviews*, 171(June), 621–645. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>

Apriyani, N. (2018). *Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya*. Media Ilmiah Teknik Lingkungan, 3(1), 21–29. <https://doi.org/10.33084/mitlv3i1.640>

Atika, V. (2018). *KOMPOSISI LILIN BATIK (MALAM) BIRON*. 25–32.

Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 6989.7:2009. Cara Uji Seng (Zn) secara Spektrofotometri Serapan Atom. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Bakkara, C. G., & Purnomo, A. (2022). *Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat di Indonesia*. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i3.90486>

Busran, T. P. & Rachmatiah, I., 2010. *Pengaruh Penambahan Logam Zn pada Serapan Logam Cu oleh Tanaman Kiapu (Pistia stratiotes) pada Air*. Jurnal Teknik Lingkungan, 16(2), pp. 199-209.

Danil de namor, A., El Gamouz, A., Frangie, S., Martinez,V., Valiente, L., A.Webb, O., 2012, *Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite; A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals from water*, Journal of Hazardous Materials, 241-242, pp.14-31.

Fatimah, S., Arnelli, A., & Astuti, Y. (2023). *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Sabut Kelapa dengan Aktivator H₂SO₄ dan NaOH sebagai Adsorben Kation Fe dan Cu dalam Limbah Cair Batik Kebumen*. *Greensphere: Journal*

of *Environmental Chemistry*, 3(1), 1–8.
<https://doi.org/10.14710/gjec.2023.16300>

Ginting, M., Marbun, N. R., Sinaga, M., Fitri, K., & Leny, L. (2022). *Formulasi dan Evaluasi Sediaan Gummy Candies dari Sari Ganggang Hydrilla (Hydrilla Verticillata L.) yang Tumbuh di Perairan Danau Toba*. *Majalah Farmasetika*, 8(1), 13.
<https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v8i1.36649>

Glick, B. R. (2010). *Using soil bacteria to facilitate phytoremediation*. *Biotechnology Advances*, 28(3), 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.001>

Hakim, L. M. (2018). Batik Sebagai Warisan Budaya Bangsa dan Nation Brand Indonesia. *Nation State Journal of International Studies*, 1(1), 61–90.
<https://doi.org/10.24076/nsjis.2018v1i1.90>

Hapsari, J. E., Amri, C., & Suyanto, A. (2018). *Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) Sebagai Fitoremediasi Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik*. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 9(4), 30–37. <https://doi.org/10.23960/aec.v3.i1.2018.p30-37>

Hussain, S., Khan, M., Sheikh, T., 2022, *Zinc Essentiality; Toxicity; and Its Bacterial Bioremediation: A Comprehensive Insight*, Frontiers in Microbiology, 13

Hutaningrum, A. L. D. (2013). Pelatihan Membuat Batik Untuk Meningkatkan Kreativitas Di Pusat Pelatihan Batik Tulis Al-Hudakabupaten Sidoarjo. *J+ Unesa*, 2(2), 1-7.

Iriani, W., Warsono, H., & Lestari, H. (2022). *Pemberdayaan Perajin Batik di Kabupaten Kebumen* Universitas Diponegoro. *Journal Of Public Policy And Management Review*, 2.

Izzah, I., Supriatno, & Wardiah. (2017). *Kiambang (Pistia Stratiotes) Sebagai Agen fitoremediator Logam Krom (Cr)*.

Indasah (2017) *Kesehatan Lingkungan Sanitasi, Kesehatan Lingkungan dan K3*. Yogyakarta: Deepublish.

Istighfari, S., Dermawan, D., & Mayangsari, N. E. (2018, December). *Pemanfaatan Kayu Apu (Pistia stratiotes) untuk Menurunkan Kadar BOD, COD, dan Fosfat pada Air Limbah Laundry*. In Conference Proceeding on Waste Treatment Technology (Vol. 1, No. 1, pp. 103-108).

- Khaira, K. (2014). *Analisis Kadar Tembaga dan Seng Air Minum Isi Ulang Lima Kaum Tanah Datar*. *Jurnal Sainstek*, 6(2), 116–123.
- Kristianingsih, Y., Faidah, N., & Cahyani, Y. (2021). *Pemertahanan Leksikon Dan Makna Kultural Motif Batik Kebumen Sebagai Upaya Preservasi Warisan Budaya Bangsa*. *Haluan Sastra Budaya*, 5(1), 89. <https://doi.org/10.20961/hsb.v5i1.44625>
- Khoerunnisa, R. (2012). *UPAYA PENGEMBANGAN SENTRA INDUSTRI BATIK DI DESA GEMEKSEKTI KECAMATAN KEBUMEN KABUPATEN KEBUMEN* (Nomor May 2014).
- Kurniyati. (2018). *Dinamika Industri Batik (Kurniyati)* 215. 215–228.
- Laili. (2020). *Al-Ard : Jurnal Teknik Lingkungan Fitoremediasi Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes) terhadap Kadar Logam Zn Berdasarkan Variasi Jumlah Tanaman*. 6(1), 44–52.
- Lucyan, A (2021). *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan Naoh dan Fitoremediasi Hydrilla Verticillata Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) Dan Nikel (Ni)*. Skripsi, Program Studi Kimia

Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang

Langeland, G. 2008. *Code For Practice For Powdered Formula For Plants*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Lasut, M. T. (2020). *Limbah Cair: Suatu Kajian Akademis untuk Pengelolaannya di Kota Pesisir Manado*. Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT): 978-623-90631-9-1.

Li, H.-Y., Wei, D.-Q., Shen, M., & Zhou, Z.-P. (2012). *Endophytes and their role in phytoremediation*. Fungal Diversity, 54(1), 11–18. <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0165-x>

Lestari, Y. P., & Aminatun, T. (2018). EFEKTIVITAS VARIASI BIOMASSA TANAMAN *Hydrilla verticillata* DALAM FITOREMEDIASI LIMBAH BATIK. *Kingdom (The Journal of Biological Studies)*, 7(4), 233–241. <https://doi.org/10.21831/kingdom.v7i4.12542>

Ma, Y., Prasad, M. N. V., Rajkumar, M., & Freitas, H. (2011). *Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils*. Biotechnology Advances, 29(2), 248 – 258. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.12.001>

Megagupita, S., Marendra, P., Widiyatmono, B. R., & Sari, E. (2024). *Perbandingan Efektivitas Fitoremediasi Dalam Mereduksi BOD dan COD (Studi Kasus : Industri Batik Alam , Pasuruan) Comparison Effectiveness of Phytoremediation in Reducing BOD and COD (Study Case : Batik Alam Industry , Pasuruan).* 11, 20–29.

Muhammad, Abdullah. "Urgensi Pelestarian Lingkungan Hidup dalam AlQur'an," dalam Jurnal Pilar: Jurnal Kajian Islam Kontemporer, Vol. 13 No. 1 Tahun 2022.

Mulyasari, T. M., & Mukono, J. (2016). *Dampak Pembuangan Limbah Batik ke Sungai Tingkat Kadmium pada Air Sumur Gali.* 4(7), 67–70.

Munawwaroh, A., & Pangestuti, A. A. (2018). ANALISIS MORFOLOGI DAN ANATOMI AKAR KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.) AKIBAT PEMBERIAN BERBAGAI KONSENTRASI KADMIUM (CD). *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi,* 7(2), 111–122.
<https://doi.org/10.26877/bioma.v7i2.2759>

Mutmainnah, Fadila, et al. *Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) dengan Menggunakan Hydrilla Verticillata dan Naja Indica (Phytoremediation Heavy Metals Lead (Pb) Using*

Hydrilla Verticillata And Najas Indica). Jurnal Penelitian Sains, vol. 17, no. 3, 2015

N., Charisma W., et al. *Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod, Cod Dan Warna.* Jurnal Teknik Lingkungan, vol. 4, no. 2, 2015, pp. 1-8.

Ningsih, D. A., 2017, *Uji Penurunan Kandungan Bod,Cod, Dan Warna Pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Scirpus Grossus Dan Iris Pseudacorus Dengan Sistem Pemaparan Intermittent*, Skripsi, Surabaya, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Nur, R. N. F., & Purnomo, T. (2022). *Efektivitas Hydrilla verticillata dan Lemna minor sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik.* *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 263–272.
<https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p263-272>

Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 74–83.
<https://doi.org/10.24252/bio.v1i1.450>

Novi, C., Sartika, & Shobah, A. N. (2019). *Phytoremediation of Zinc Metal (Zn) using Hydrilla sp. on Paper Industry Waste.* *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 108–114.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.8814>

Octarina, E., 2015, *Uji Penurunan kandungan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik menggunakan Scirpus grossus dan Egeria densa*, Skripsi, Surabaya, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Padmavathiamma, P.K. and Li, L.Y. 2007. *Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants*. Water, Air and Soil Pollution 184: 105-126

Pandia, S., & Purba, E. (2017). *Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh Dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan. II(3)*, 134–140.

Prasetyo, R. A. (2021). Review Jurnal Teknologi Fitoremediasi Untuk Pemulihan Lahan Tercemar Minyak. *PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 10(2), 53–59.
<https://doi.org/10.25105/petro.v10i2.9249>

Pulungan, A. F., & Wahyuni, S. (2021). ANALISIS KANDUNGAN

LOGAM KADMIUM (Cd) DALAM AIR MINUM ISI ULANG (AMIU) DI KOTA LHOKSEUMAWE, ACEH. *AVERROUS: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Malikussaleh*, 7(1), 75. <https://doi.org/10.29103/averrous.v7i1.3666>

Purwaningsih, D. (2011). *Analisis Identifikasi Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Ketahanan Pangan Rumah Tangga di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2009*. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Pembangunan*. *Jurnal Ilmiah FE UNS Surakarta*, Vol. 11, Nomor. 1, 2011.

Puspitasari, D., & Irawanto, R. (2016). *Fitoremediasi Limbah Domestik Dengan Tumbuhan Akuatik Mengapung Di Kebun Raya Purwodadi*. *Prosiding Seminar Nasional FTP UB* ..., 1(January), 1–11.

Prabha, P., & Rajkumar, J. (2015). *Phytochemical screening and bioactive potential of Hydrilla verticillata*. Available online www.jocpr.com *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(3), 1809–1815. www.jocpr.com

Ramesh, et al., (2007). *Cotton Textile Processing: Waste Generation and Effluent Treatment*. *Journal of Cotton Science* , 11:141–153.

Ratna K. 2012. *Upaya Pengembangan Sentra Industri Batik Di Desa Gemeksekti Kecamatan Kebumen Kabupaten Kebumen.* Skripsi. Fakultas Ilmu Sosial. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta

Romadhon, Y. A. (2017). *Kebijakan Pengelolaan Air Limbah Dalam Penanganan Limbah Batik Di Kota Pekalongan.* *Insignia*, 4(2), 49–64.

Saier, M. H., & Trevors, J. T. (2010). *Phytoremediation. Water, Air, and Soil Pollution*, 205(S1), 61–63.
<https://doi.org/10.1007/s11270-008-9673-4>

Savira, W., & Fitrihidajati, H. (2024). *Pemanfaatan Eceng gondok (Eichornia crassipes) dan Kayu apu (Pistia stratiotes) sebagai Agen fitoremediator Pencemaran Air oleh Logam Berat Zink (Zn).* *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 13(1), 191–197.
<https://doi.org/10.26740/lenterabio.v13n1.p191-197>

Sitanggang, P. Y. (2017). *Pengolahan Limbah Tekstil Dan Batik Di Indonesia.* *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(12), 1–10.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1133991>

Sugiyono. (2007). *Statistika Untuk Penelitian.* Bandung: Alfabeta.

- Suharto, B., Wirosedarmo, R., & Sulanda, R. H. (2013). *Pengolahan Limbah Batik Tulis Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Batik Waste Reduction With Phytoremediation Using Water Hyacinth Plants (Eichornia Crassipes)*. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 14–19.
- Shinta, D. R., Proklamasiningsih, E., Santoso, S., Widystuti, A., & Artikel, R. J. (2023). *Fitoremediasi Limbah Cair Tekstil Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes) dalam Meningkatkan Jumlah Helai Daun dan Bobot Basah*. *Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 5(1), 33–40.
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). *Mekanisme Fitoremediasi: Review*. Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL), 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>
- Sunandi, E., & Nugroho, S. (2013). *Rancangan Acak Sub Sampel*. E-jurnal statistika F-MIPA
- Soheti, P., Sumarlin, L. O., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*, 41(2), 139.

<https://doi.org/10.17146/eksplorium.2020.41.2.6092>

Syarif Nurhidayat. (2010). *Eksistensi dan Perlindungan Karya Cipta Motif Batik Kebumen sebagai Kekayaan Intelektual Tradisional*. Tesis. Semarang: Program Pascasarjana UNDIP.

Utami, L. D., . N., & Rahayu, U. (2017). *Kemampuan Tanaman Apu- Apu (Pistia stratiotes L.) Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Nikel (Ni) Limbah Cair*. Gema Lingkungan Kesehatan, 15(1). <Https://Doi.Org/10.36568/Kesling.V15i1.576>

Vamerali, T., Bandiera, M., & Mosca, G. (2010). *Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land*. A review. Environmental Chemistry Letters, 8(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10311-009 0268-0>

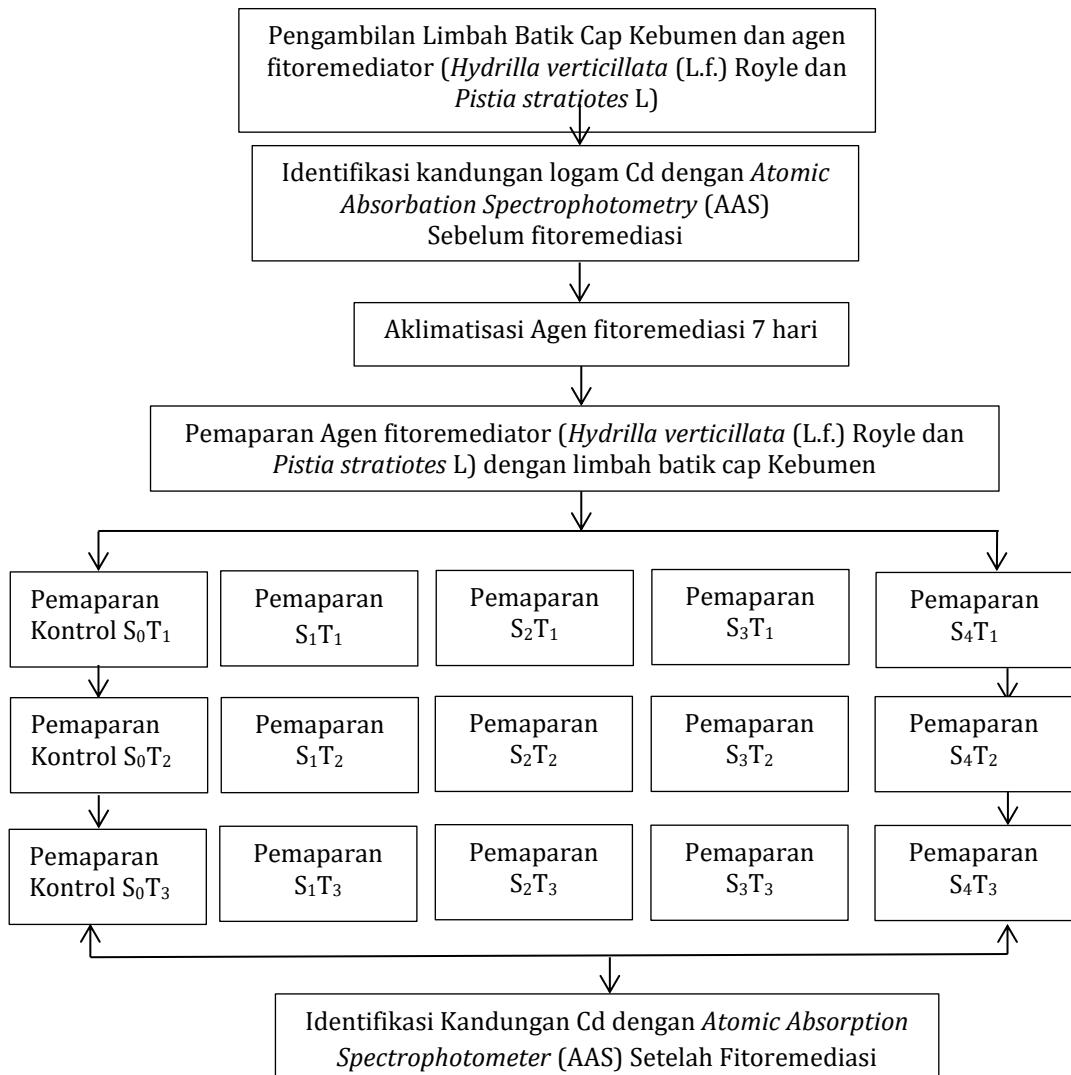
Viobeth, B. R., Sumiyati, S., & Sutrisno, E. (2013). *Fitoremediasi Limbah Mengandung Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) Menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia Molesta)*. Jurnal Teknik Lingkungan, 2(1), 1-10. <http://eprints.undip.ac.id/40840/>

Wang, F.Y., Lin, X.G. and Yin, R. 2007. *Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on heavy metal*

- accumulation of maize grown in a naturally contaminated soil.* International Journal of Phytoremediation 9: 345-353.
- Wang, J., Feng, X. and Anderson, C.W.N. 2012. *Thiosulphate assisted phytoextraction of mercury (Hg) contaminated soils at the Wanshan mercury mining district, Southwest China.* In: Environmental, Socio- economic, and Health Impact of Artisanal and Small-Scale
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. Chemosphere, 184, 594–600.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.025>
- Widya, C., Zaman, B., & Syafrudin. (2015). *Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD Dan Warna.* Jurnal Teknik Lingkungan, 4(2), 1–8.
- Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Shao, H., Chu, L. and Ruan, C. 2010. *A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities.* Journal of Hazardous Material 174: 1-8.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian



Lampiran 2. Diagram Alir

1. Pengambilan sampel limbah cair batik cap

Limbah Cair Batik Cap Kebumen (Proses

- └ Diambil sebanyak 10 liter
- └ Dimasukan ke dalam jerigen kapasitas 10 liter
- └ Disimpan suhu ruang

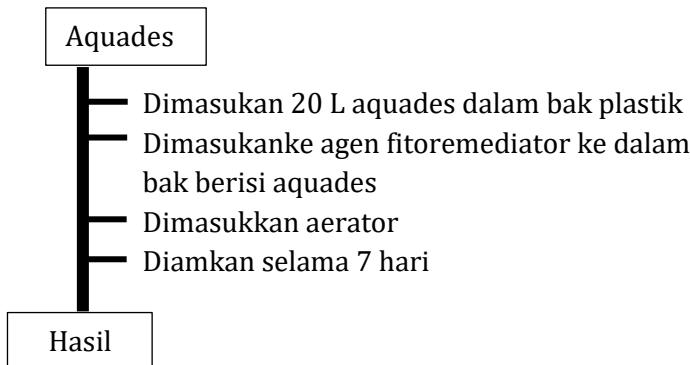
2. Uji Pendahuluan

Limbah Cair Batik Cap Kebumen (Proses
Pencucian) Sebelum fitoremediasi

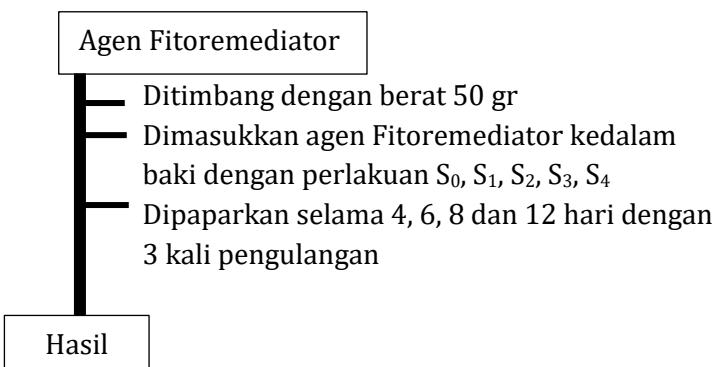
- └ Diambil 100ml sampel limbah batik dimasukan ke dalam erlenmeyer
- └ Ditambahkan 5 mL HNO₃ 65% kedalam erlenmeyer berisi sampel limbah batik
- └ Tutup erlenmeyer menggunakan corong gelas
- └ Dipanaskan menggunakan mantel heating dalam lemari asam
- └ Diamkan menguap hingga menyisakan 10-20 mL sampel
- └ Matikan mantel heating, pindahkan sampel menuju meja preparasi
- └ Diamkan sampel sampai suhu ruang
- └ Disaring sampel dan pindahkan ke labu 100mL
- └ Ditera sampel sampai ambang batas
- └ Diuji sampel menggunakan AAS dengan katoda lampu cadmium dengan panjang gelombang 228,8

Hasil

3. Aklimatisasi agen fitoremediator



4. Pemaparan tumbuhan fitoremediasi pada air limbah batik cap Kebumen



5. Pengujian sampel air setelah fitoremediasi

Limbah Cair Batik Cap Kebumen (Proses Pencucian) Sebelum fitoremediasi

- Diambil 100ml sampel limbah batik dimasukan ke dalam erlenmeyer
- Ditambahkan 5 mL HNO₃ 65% kedalam erlenmeyer berisi sampel limbah batik
- Tutup erlenmeyer menggunakan corong gelas
- Dipanaskan menggunakan mantel heating dalam lemari asam
- Diamkan menguap hingga menyisakan 10-20 mL sampel
- Matikan mantel heating, pindahkan sampel menuju meja preparasi
- Diamkan sampel sampai suhu ruang
- Disaring sampel dan pindahkan ke labu 100mL
- Ditera sampel sampai ambang batas
- Diuji sampel menggunakan AAS dengan katoda lampu cadmium dengan panjang gelombang 228,8

Hasil

Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan

c. Pemaparan Fitoremediasi



d. Pengujian Logam



(Sampel limbah batik)



(Sampel diambil 100mL)



(Ditambahkan HNO₃ 65%)



(Sampel dipanaskan)



(Filtrasi)
AAS)



(Sampel siap di uji dengan



(*Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*)

Lampiran 4. Baku Mutu air Limbah (PERMEN LH No 5 Tahun 2014)

81

2014, No.1815

LAMPIRAN XLVII
 PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
 REPUBLIK INDONESIA
 NOMOR 5 TAHUN 2014
 TENTANG
 BAKU MUTU AIR LIMBAH

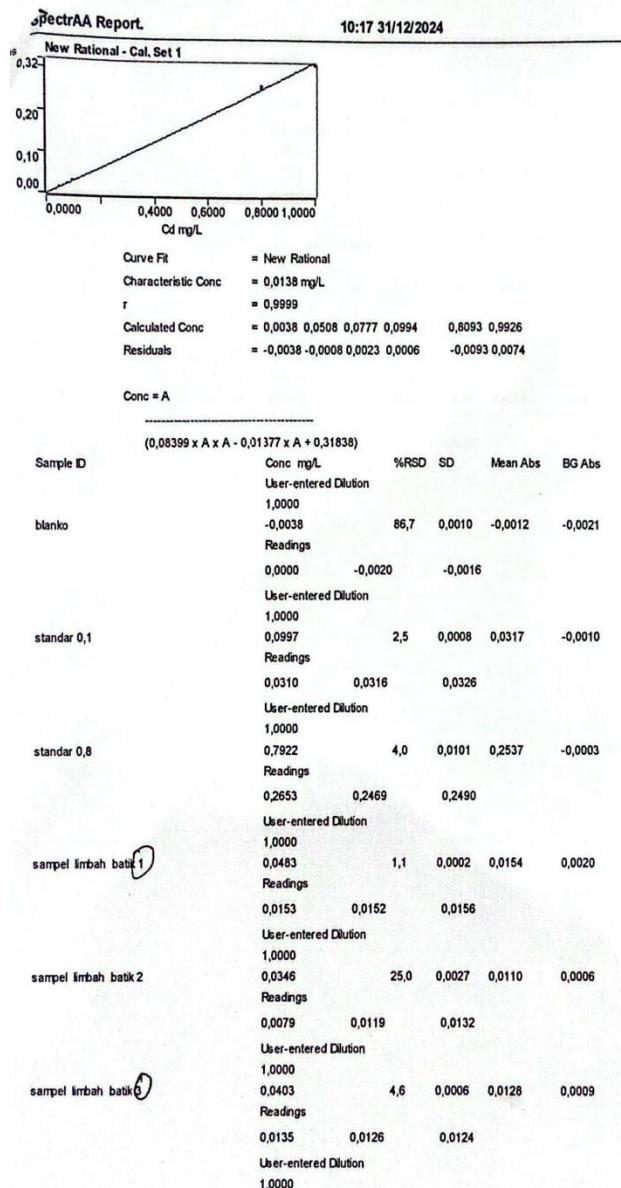
BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
 YANG BELUM MEMILIKI BAKU MUTU AIR LIMBAH YANG DITETAPKAN

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0
Besi terlarut [Fe]	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr^{6+})	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stannum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H_2S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl_2)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)	mg/L	5	10
Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	20	30
Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Lampiran 5. Lembar Hasil Uji logam cadmium (Cd)

1. Uji logam Cadmium (Cd) Sampel limbah batik cap

SpectrAA Report		10:17 31/12/2024				Page 1 of 3	
Analyst		Date Started	10:03 20/12/2024	Worksheet	UJI Cd LIMBAH BATIK TIA jadi		
Comment		Methods	Cd	Computer name	USER-PC		
Serial Number:			<th></th> <th></th> <th></th>				
Method: Cd (Flame)							
Sample ID CAL ZERO		Conc mg/L 0,0000	%RSD 18,7	SD 0,0002	Mean Abs 0,0012	BG Abs 0,0022	
		Readings 0,0010		0,0014	0,0013		
STANDARD 1		0,0500	2,0	0,0003	0,0162	-0,0004	
		Readings 0,0160		0,0159	0,0165		
STANDARD 2		0,0800	4,6	0,0011	0,0247	0,0000	
		Readings 0,0256		0,0252	0,0234		
STANDARD 3		0,1000	8,1	0,0026	0,0316	-0,0014	
		Readings 0,0288		0,0323	0,0338		
STANDARD 4		-----e		-----e	-----e		
		Readings -----e		-----e	-----e		
STANDARD 5		0,8000	2,5	0,0064	0,2594	-0,0017	
		Readings 0,2643		0,2521	0,2616		
STANDARD 6		1,0000	2,7	0,0085	0,3202	-0,0016	
		Readings 0,3149		0,3300	0,3156		



SpectraA Report		10:17 31/12/2024				Page 3 of 3
sample limbah batik 4		0,0354	8,0	0,0009	0,0113	0,0007
	Readings					
	0,0115	0,0102	0,0120			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
w	0,0013	89,1	0,0004	0,0004	-0,0012	
	Readings					
	0,0009	0,0003	0,0002			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
w	0,0026	>100	0,0010	0,0008	0,0016	
	Readings					
	0,0010	-0,0003	0,0017			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
w	0,0040	46,9	0,0006	0,0013	0,0056	
	Readings					
	0,0017	0,0006	0,0015			
	User-entered Dilution					
	1,0000					

**2. Agen fitoremediator *Hydrilla verticillata* (L. f.)
Royle**

SpectrAA Report.

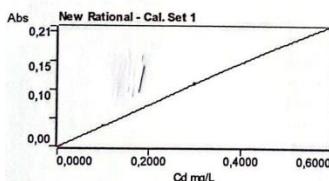
12:24 16/02/2025

Page 1 of 5

Analyst
 Date Started 11:53 16/02/2025
 Worksheet U11 Cd Tabanan Hidrla FNL6
 Comment
 Methods Cd
 Computer name USER-PC
 Serial Number: AUI12090002

Method: Cd (Flame)

Sample ID	Conc mg/L	%RSD	SD	Mean Abs	BG Abs
CAL ZERO	0,0000	>100	0,0006	-0,0004	0,0002
	Readings				
	-0,0001	0,0000		-0,0011	
STANDARD 1	0,0500	2,4	0,0004	0,0173	-0,0007
	Readings				
	0,0168	0,0175		0,0175	
STANDARD 2	0,1000	0,4	0,0001	0,0359	-0,0007
	Readings				
	0,0359	0,0358		0,0361	
STANDARD 3	0,3000	1,5	0,0016	0,1089	0,0008
	Readings				
	0,1095	0,1071		0,1102	
STANDARD 4	0,6000	0,5	0,0010	0,2100	0,0010
	Readings				
	0,2110	0,2092		0,2098	



Curve Fit = New Rational
 Characteristic Conc = 0,0127 mg/L
 r = 1,0000
 Calculated Conc = -0,0011 0,0494 0,1012 0,2991 0,6003
 Residuals = 0,0011 0,0006 -0,0012 0,0009 -0,0003

Conc = A

Spectra Report Page 2 of 5

Sample ID	$(-1.55527 \times A \times A + 0.35422 \times A + 0.34399)$				
	Conc mg/L	%RSD	SD	Mean Abs	BG Abs
blanko	User-entered Dilution 1,0000 0,0017	23,1	0,0001	0,0006	0,0011
	Readings 0,0005	0,0005		0,0007	
standar 0,1	User-entered Dilution 1,0000 ----e			----e	----e
	Readings				
STNDR 0.1 PPM	User-entered Dilution 1,0000 0,1030	0,9	0,0003	0,0366	0,0013
	Readings 0,0368	0,0362		0,0367	
S1 T1 (1)	User-entered Dilution 1,0000 0,0384	1,0	0,0001	0,0134	0,0004
	Readings 0,0135	0,0134		0,0132	
S1 T1 (1) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0386	2,7	0,0004	0,0134	-0,0009
	Readings 0,0134	0,0138		0,0131	
S1 T1 (2)	User-entered Dilution 1,0000 0,0382	3,1	0,0004	0,0133	-0,0006
	Readings 0,0136	0,0135		0,0129	
S1 T1 (2) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0360	7,1	0,0009	0,0125	0,0004
	Readings 0,0129	0,0132		0,0115	
S1 T1 (3)	User-entered Dilution 1,0000 0,0373	4,0	0,0005	0,0130	-0,0006
	Readings 0,0136	0,0128		0,0126	
S1 T1 (3) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0367	2,7	0,0003	0,0128	0,0001
	Readings 0,0127	0,0132		0,0125	
S2 T1 (1)	User-entered Dilution 1,0000 0,0268	7,8	0,0007	0,0092	-0,0002
	Readings				

Spectra Report.		12:24 16/02/2025					Page 3 of 5
		0,0100	0,0088	0,0088			
S2 T1 (1) D		User-entered Dilution 1,0000					
		0,0262	2,4	0,0002	0,0091	-0,0001	
	Readings						
		0,0093	0,0089	0,0090			
S2 T1 (2)		User-entered Dilution 1,0000					
		0,0263	1,6	0,0001	0,0091	0,0002	
	Readings						
		0,0090	0,0091	0,0093			
S2 T1 (2) D		User-entered Dilution 1,0000					
		0,0258	3,0	0,0003	0,0089	0,0013	
	Readings						
		0,0090	0,0091	0,0086			
S2 T1 (3)		User-entered Dilution 1,0000					
		0,0235	2,1	0,0002	0,0082	0,0002	
	Readings						
		0,0083	0,0080	0,0083			
S2 T1 (3) D		User-entered Dilution 1,0000					
		0,0241	5,6	0,0005	0,0084	0,0005	
	Readings						
		0,0096	0,0086	0,0078			
S3 T1 (1)		User-entered Dilution 1,0000					
		----e		----e		----e	
	Readings						
S3 T1 (1) D		User-entered Dilution 1,0000					
		----e		----e		----e	
	Readings						
S3 T1 (2)		User-entered Dilution 1,0000					
		----e		----e		----e	
	Readings						
S3 T1 (2) D		User-entered Dilution 1,0000					
		----e		----e		----e	
	Readings						
S3 T1 (3)		User-entered Dilution 1,0000					
		0,0195	6,0	0,0004	0,0067	0,0009	
	Readings						

SpectrAA Report

12:24 16/02/2025

Page 4 of 5

	0,0066	0,0072	0,0065		
User-entered Dilution					
S3 T1 (3) D	1,0000				
	0,0214	7,8	0,0006	0,0074	-0,0004
Readings					
	0,0079	0,0075	0,0068		
User-entered Dilution					
S4 T1 (1)	1,0000				
	----e		----e	----e	
Readings					
User-entered Dilution					
S4 T1 (1) D	1,0000				
	----e		----e	----e	
Readings					
User-entered Dilution					
S4 T1 (2)	1,0000				
	----e		----e	----e	
Readings					
User-entered Dilution					
S4 T1 (2) D	1,0000				
	----e		----e	----e	
Readings					
User-entered Dilution					
S4 T1 (3)	1,0000				
	0,0187	2,9	0,0002	0,0065	0,0001
Readings					
	0,0063	0,0067	0,0064		
User-entered Dilution					
S4 T1 (3) D	1,0000				
	0,0171	5,6	0,0003	0,0059	0,0005
Readings					
	0,0058	0,0063	0,0057		
User-entered Dilution					
stdnr 0,3	1,0000				
	0,2978	1,1	0,0012	0,1084	-0,0003
Readings					
	0,1082	0,1073	0,1097		
User-entered Dilution					
S3 T1 (1)	1,0000				
	0,0208	1,3	0,0001	0,0072	0,0007
Readings					
	0,0072	0,0071	0,0073		
User-entered Dilution					
S3 T1 (1) D	1,0000				
	0,0200	9,2	0,0006	0,0069	0,0010
Readings					

SpectrAA Report		12:24 16/02/2025				Page 5 of 5
		0,0064	0,0067	0,0076		
	User-entered Dilution					
	1,0000					
S3 T1 (2)	0,0193	14,7	0,0010	0,0067	0,0005	
	Readings					
	0,0060	0,0063	0,0078			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
S3 T1 (2) D	0,0190	10,2	0,0007	0,0066	0,0015	
	Readings					
	0,0072	0,0059	0,0067			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
S4 T1 (1)	0,0183	7,3	0,0005	0,0063	-0,0003	
	Readings					
	0,0062	0,0059	0,0068			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
S4 T1 (1) D	0,0180	6,9	0,0004	0,0062	-0,0001	
	Readings					
	0,0059	0,0067	0,0061			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
S4 T1 (2)	0,0163	4,8	0,0003	0,0056	0,0016	
	Readings					
	0,0059	0,0055	0,0055			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
S4 T1 (2) D	0,0181	8,9	0,0006	0,0063	-0,0001	
	Readings					
	0,0065	0,0056	0,0067			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
w	-0,0010	>100	0,0003	-0,0003	0,0029	
	Readings					
	-0,0003	0,0000	-0,0007			
	User-entered Dilution					
	1,0000					
w	-0,0014	>100	0,0005	-0,0005	0,0031	
	Readings					
	0,0001	-0,0008	-0,0007			
	User-entered Dilution					
	1,0000					

3. Agen fitoremediator *Pistia stratiotes* L

SpectrAA Report.		13:42 16/02/2025			Page 1 of 5	
Analyst						
Date Started	13:09 16/02/2025					
Worksheet	U1 Cd Tanaman Apa2.01					
Comment						
Methods	Cd					
Computer name	USER-PC					
Serial Number:	AUI2090002					
Method: Cd (Flame)						
Sample ID		Conc mg/L	%RSD	SD	Mean Abs	BG Abs
CAL ZERO		0,0000	>100	0,0002	-0,0001	0,0006
	Readings					
		-0,0001	0,0001		-0,0003	
STANDARD 1		0,0500	1,6	0,0003	0,0174	-0,0036
	Readings					
		0,0173	0,0177		0,0171	
STANDARD 2		0,1000	2,3	0,0008	0,0365	-0,0022
	Readings					
		0,0373	0,0366		0,0357	
STANDARD 3		0,3000	2,0	0,0022	0,1101	-0,0016
	Readings					
		0,1077	0,1109		0,1119	
STANDARD 4		0,6000	2,4	0,0051	0,2105	-0,0002
	Readings					
		0,2162	0,2089		0,2065	
Curve Fit	= New Rational					
Characteristic Conc	= 0,0126 mg/L					
r	= 0,9999					
Calculated Conc	= -0,0003 0,0492 0,1018 0,2984 0,6006					
Residuals	= 0,0003 0,0008 -0,0018 0,0016 -0,0006					
Conc = A						

Sample ID	$(-1,85925 \times A \times A + 0,41128 \times A + 0,34633)$				
	Conc mg/L	%RSD	SD	Mean Abs	BG Abs
blanko	User-entered Dilution 1,0000 0,0008 Readings 0,0008		>100	0,0005	0,0003 -0,0003
standar 0,1	User-entered Dilution 1,0000 0,0984 Readings 0,0348		1,1	0,0004	0,0353 -0,0027
STNDR 0.1 PPM	User-entered Dilution 1,0000 0,1019 Readings 0,0370		2,3	0,0008	0,0366 -0,0020
S1 T2 (1)	User-entered Dilution 1,0000 0,0233 Readings 0,0083		3,2	0,0003	0,0082 -0,0016
S1 T2 (1) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0239 Readings 0,0079		4,7	0,0004	0,0083 0,0002
S1 T2 (2)	User-entered Dilution 1,0000 0,0240 Readings 0,0083		4,0	0,0003	0,0084 -0,0012
S1 T2 (2) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0234 Readings 0,0079		6,0	0,0005	0,0082 -0,0015
S1 T2 (3)	User-entered Dilution 1,0000 0,0235 Readings 0,0080		2,9	0,0002	0,0082 -0,0009
S1 T2 (3) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0224 Readings 0,0083		5,4	0,0004	0,0078 -0,0014
S2 T2 (1)	User-entered Dilution 1,0000 ----e Readings			----e	----e

S2 T2 (1) D	User-entered Dilution 1,0000 ---e Readings				
S2 T2 (2)	User-entered Dilution 1,0000 0,0165 Readings 0,0053 0,0055 0,0064	10,0	0,0006	0,0058	-0,0017
S2 T2 (2) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0162 Readings 0,0055 0,0057 0,0058	2,3	0,0001	0,0057	-0,0012
S2 T2 (3)	User-entered Dilution 1,0000 0,0166 Readings 0,0066 0,0063 0,0066	3,0	0,0002	0,0065	-0,0024
S2 T2 (3) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0169 Readings 0,0067 0,0059 0,0051	13,1	0,0008	0,0059	-0,0010
S3 T2 (1)	User-entered Dilution 1,0000 0,0141 Readings 0,0046 0,0049 0,0053	7,1	0,0004	0,0049	-0,0010
S3 T2 (1) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0126 Readings 0,0044 0,0043 0,0045	3,3	0,0001	0,0044	0,0000
S3 T2 (2)	User-entered Dilution 1,0000 0,0128 Readings 0,0056 0,0040 0,0038	21,6	0,0010	0,0045	-0,0014
S3 T2 (2) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0140 Readings 0,0046 0,0053 0,0048	6,9	0,0003	0,0049	-0,0018
S3 T2 (3)	User-entered Dilution 1,0000 0,0126 Readings	15,9	0,0007	0,0044	-0,0005

spectrAA Report.		13:42 16/02/2025				Page 4 of 5
		0,0036	0,0050	0,0045		
S3 T2 (3) D	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0135	10,4	0,0005	0,0047	-0,0020	
	Readings					
	0,0051	0,0042		0,0047		
S4 T2 (1)	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0103	12,3	0,0004	0,0036	-0,0005	
	Readings					
	0,0041	0,0032		0,0034		
S4 T2 (1) D	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0111	7,4	0,0003	0,0039	-0,0006	
	Readings					
	0,0040	0,0040		0,0035		
S4 T2 (2)	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0115	11,8	0,0005	0,0040	-0,0015	
	Readings					
	0,0038	0,0046		0,0037		
S4 T2 (2) D	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0117	7,1	0,0003	0,0041	-0,0022	
	Readings					
	0,0042	0,0037		0,0043		
S4 T2 (3)	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0108	6,9	0,0003	0,0038	-0,0011	
	Readings					
	0,0035	0,0039		0,0039		
S4 T2 (3) D	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0106	10,6	0,0004	0,0037	-0,0015	
	Readings					
	0,0037	0,0033		0,0041		
S2 T2 (1)	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0165	10,8	0,0006	0,0058	-0,0016	
	Readings					
	0,0058	0,0051		0,0063		
S2 T2 (1) D	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,0146	4,9	0,0002	0,0051	0,0003	
	Readings					
	0,0050	0,0049		0,0054		
Standar 0,3 ppm	User-entered Dilution					
	1,0000					
	0,2697	18,2	0,0181	0,0995	0,0003	
	Readings					

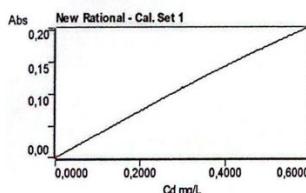
4. Agen fitoremediator tumbuhan kombinasi

SpectrAA Report. 15:00 16/02/2025 Page 1 of 6

Analyst
 Date Started 14.26 16/02/2025
 Worksheet U1 Cd Gabungan 2
 Comment
 Methods Cd
 Computer name USER-PC
 Serial Number: AU12090002

Method: Cd (Flame)

Sample ID	Conc mg/L	%RSD	SD	Mean Abs	BG Abs
CAL ZERO	0,0000	74,0	0,0003	-0,0005	-0,0001
	Readings				
	-0,0003		-0,0003		-0,0008
STANDARD 1	0,0500	0,1	0,0000	0,0180	-0,0022
	Readings				
	0,0180		0,0181		0,0180
STANDARD 2	0,1000	1,5	0,0005	0,0361	-0,0013
	Readings				
	0,0366		0,0362		0,0355
STANDARD 3	0,3000	1,3	0,0014	0,1084	-0,0014
	Readings				
	0,1096		0,1069		0,1087
STANDARD 4	0,6000	0,1	0,0003	0,2027	-0,0005
	Readings				
	0,2025		0,2030		0,2026



Curve Fit = New Rational
 Characteristic Conc = 0,0122 mg/L
 r = 1,0000
 Calculated Conc = -0,0013 0,0499 0,0996 0,3009 0,5995
 Residuals = 0,0013 0,0001 0,0004 -0,0009 0,0005

Conc = A

SpectrAA Report.

15:00 16/02/2025

Page 2 of 6

$(-1.20689 \times A + 0.14075 \times A^2 + 0.35913)$						
Sample ID	Conc mg/L	%RSD	SD	Mean Abs	BG Abs	
blanko	User-entered Dilution 1,0000 0,0031	17,9	0,0002	0,0011	0,0003	
	Readings 0,0009	0,0012		0,0012		
standar 0,1	User-entered Dilution 1,0000 0,0975	1,2	0,0004	0,0354	-0,0011	
	Readings 0,0349	0,0356		0,0356		
STNDR 0.1 PPM	User-entered Dilution 1,0000 0,0991	2,2	0,0008	0,0360	-0,0025	
	Readings 0,0355	0,0369		0,0355		
S1 T3 (1)	User-entered Dilution 1,0000 ----e		----e	----e		
	Readings ----e					
S1 T3 (1) D	User-entered Dilution 1,0000 ----e		----e	----e		
	Readings ----e					
S1 T3 (2)	User-entered Dilution 1,0000 0,0146	5,8	0,0003	0,0052	-0,0018	
	Readings 0,0056	0,0050		0,0051		
S1 T3 (2) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0146	4,1	0,0002	0,0053	-0,0028	
	Readings 0,0055	0,0051		0,0052		
S1 T3 (3)	User-entered Dilution 1,0000 0,0142	0,5	0,0000	0,0051	-0,0013	
	Readings 0,0051	0,0051		0,0051		
S1 T3 (3) D	User-entered Dilution 1,0000 0,0141	6,4	0,0003	0,0051	-0,0010	
	Readings 0,0053	0,0047		0,0052		
S2 T3 (1)	User-entered Dilution 1,0000 0,0177	5,7	0,0004	0,0064	-0,0023	
	Readings ----e					

SpectrAA Report

15:00 16/02/2025

Page 3 of 6

		0,0064	0,0060	0,0067	
User-entered Dilution					
S2 T3 (1) D		1,0000			
		0,0113	8,3	0,0003	0,0041
		Readings			
		0,0044	0,0037	0,0041	
User-entered Dilution					
S2 T3 (2)		1,0000			
		0,0105	7,5	0,0003	0,0038
		Readings			
		0,0038	0,0035	0,0041	
User-entered Dilution					
S2 T3 (2) D		1,0000			
		0,0103	9,8	0,0004	0,0037
		Readings			
		0,0037	0,0034	0,0041	
User-entered Dilution					
S2 T3 (3)		1,0000			
		0,0110	11,2	0,0004	0,0040
		Readings			
		0,0037	0,0037	0,0045	
User-entered Dilution					
S2 T3 (3) D		1,0000			
		0,0097	11,0	0,0004	0,0035
		Readings			
		0,0037	0,0030	0,0036	
User-entered Dilution					
S3 T3 (1)		1,0000			
		----e		----e	----e
		Readings			
User-entered Dilution					
S3 T3 (1) D		1,0000			
		----e		----e	----e
		Readings			
User-entered Dilution					
S3 T3 (2)		1,0000			
		----e		----e	----e
		Readings			
User-entered Dilution					
S3 T3 (2) D		1,0000			
		----e		----e	----e
		Readings			
User-entered Dilution					
S3 T3 (3)		1,0000			
		----e		----e	----e
		Readings			
User-entered Dilution					
S3 T3 (3) D		1,0000			
		----e		----e	----e
		Readings			

SpectrAA Report

15:00 16/02/2025

Page 4 of 6

	0,0024	0,0024	0,0018		
User-entered Dilution					
S3 T3 (3) D	1,0000				
Readings					
	0,0061	14,4	0,0003	0,0022	-0,0006
	0,0023	0,0025	0,0019		
User-entered Dilution					
S4 T3 (1)	1,0000				
Readings					
	----e	----e	----e	----e	----e
User-entered Dilution					
S4 T3 (1) D	1,0000				
Readings					
	----e	----e	----e	----e	----e
User-entered Dilution					
S4 T3 (2)	1,0000				
Readings					
	0,0034	44,6	0,0005	0,0012	-0,0024
	0,0006	0,0013	0,0017		
User-entered Dilution					
S4 T3 (2) D	1,0000				
Readings					
	0,0032	9,9	0,0001	0,0012	-0,0014
	0,0013	0,0011	0,0011		
User-entered Dilution					
S4 T3 (3)	1,0000				
Readings					
	0,0020	25,8	0,0002	0,0007	0,0005
	0,0007	0,0009	0,0006		
User-entered Dilution					
S4 T3 (3) D	1,0000				
Readings					
	0,0034	57,9	0,0007	0,0012	-0,0013
	0,0004	0,0017	0,0015		
User-entered Dilution					
S1 T3 (1)	1,0000				
Readings					
	0,0125	3,2	0,0001	0,0045	-0,0013
	0,0045	0,0047	0,0044		
User-entered Dilution					
S1 T3 (1) D	1,0000				
Readings					
	0,0131	9,3	0,0004	0,0047	-0,0023
	0,0042	0,0049	0,0051		
User-entered Dilution					
STANDAR 0,3 PPM	1,0000				
Readings					
	0,2838	0,8	0,0009	0,1024	-0,0001

SpectrAA Report		15:00 16/02/2025				Page 5 of 6
		0,1027	0,1015	0,1031		
S1 T3 (1)		User-entered Dilution 1,0000 0,0122	5,7	0,0002	0,0044	-0,0004
	Readings	0,0043	0,0042	0,0047		
S1 T3 (1) D		User-entered Dilution 1,0000 0,0123	10,0	0,0004	0,0044	-0,0007
	Readings	0,0049	0,0043	0,0041		
S2 T3 (1)		User-entered Dilution 1,0000 0,0100	12,3	0,0004	0,0036	-0,0007
	Readings	0,0033	0,0035	0,0041		
S2 T3 (1) D		User-entered Dilution 1,0000 0,0096	5,5	0,0002	0,0034	0,0004
	Readings	0,0033	0,0034	0,0036		
S4 T3 (1)		User-entered Dilution 1,0000 0,0024	45,8	0,0004	0,0009	-0,0001
	Readings	0,0011	0,0011	0,0004		
S4 T3 (1) D		User-entered Dilution 1,0000 0,0040	19,9	0,0003	0,0014	-0,0004
	Readings	0,0018	0,0012	0,0013		
S3 T3 (1)		User-entered Dilution 1,0000 0,0067	5,4	0,0001	0,0024	-0,0008
	Readings	0,0025	0,0023	0,0025		
S3 T3 (1) D		User-entered Dilution 1,0000 0,0063	9,3	0,0002	0,0023	-0,0006
	Readings	0,0022	0,0025	0,0021		
S3 T3 (2)		User-entered Dilution 1,0000 0,0068	18,9	0,0005	0,0025	-0,0023
	Readings	0,0020	0,0024	0,0029		
S3 TT3 (2) D		User-entered Dilution 1,0000 0,0065	19,2	0,0004	0,0023	-0,0020
	Readings					

Lampiran 6. Hasil uji SPSS

A. Konsentrasi logam

1. Uji Normalitas

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statisti c	df	Sig.	Statisti c	df	Sig.
Standardized Residual for Kons_Cd	,101	36	,200*	,951	36	,110

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Two Way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Kons_Cd						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F		Sig.
Corrected Model	,003 ^a	11	,000	237,49 0		,000
Intercept	,010	1	,010	9238,0 26		,000
Tanaman	,002	2	,001	751,66 2		,000
Waktu	,001	3	,000	330,39 2		,000

Tanaman *	,000	6	2,113E-5	19,649	,000
Waktu					
Error	2,581E-5	24	1,075E-6		
Total	,013	36			
Corrected	,003	35			
Total					
a. R Squared = ,991 (Adjusted R Squared = ,987)					

3. Uji DMRT

Kons_Cd					
Duncan ^{a,b}					
Waktu	N	Subset			
		1	2	3	4
12	18	,0106			
8	18		,0132		
6	18			,0179	
4	18				,0249
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
Based on observed means.					
The error term is Mean Square(Error) = 1,49E-006.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.					
b. Alpha = 0,05.					

Kons_Cd				
Duncan ^{a,b}				
Tanaman	N	Subset		
		1	2	3
3	24	,0087		
2	24		,0161	
1	24			,0252
Sig.		1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
Based on observed means.				
The error term is Mean Square(Error) = 1,49E-006.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24,000.				
b. Alpha = 0,05.				

B. Berat basah

a. Perlakuan Limbah

1. Uji Normalitas

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnova ^a			Shapiro-Wilk		
	Statis tic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Berat_Basah	,090	36	,200*	,973	36	,514

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Anova Two Way

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Berat_Basah					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5391,889 ^a	11	490,172	11,733	,000
Intercept	25493,444	1	25493,444	610,215	,000
Waktu	5129,000	3	1709,667	40,923	,000
Tanaman	139,056	2	69,528	1,664	,210
Waktu * Tanaman	123,833	6	20,639	,494	,806
Error	1002,667	24	41,778		
Total	31888,000	36			

Corrected Total	6394,556	35			
a. R Squared = ,843 (Adjusted R Squared = ,771)					

b. Perlakuan Kontrol

1. Uji Normalitas

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statis tic	df	Sig.	Statisti c	df	Sig.
Standardized Residual for Berat_Basah	,111	36	,200*	,982	36	,825

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Anova Two Way

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Berat_Basah					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3414,306 ^a	11	310,391	5,646	,000
Intercept	52823,361	1	52823,361	960,910	,000
Waktu	1498,083	3	499,361	9,084	,000
Tanaman	1053,722	2	526,861	9,584	,001

Waktu *	862,500	6	143,750	2,615	,043
Tanaman					
Error	1319,333	24	54,972		
Total	57557,000	36			
Corrected	4733,639	35			
Total					
a. R Squared = ,721 (Adjusted R Squared = ,594)					

3. DMRT

Berat_Basah					
Duncan ^{a,b}					
Waktu	N	Subset			
		1	2	3	
12,00	9	29,1111			
6,00	9		36,4444		
8,00	9		40,8889	40,8889	
4,00	9			46,7778	
Sig.		1,000	,216	,105	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
Based on observed means.					
The error term is Mean Square(Error) = 54,972.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.					
b. Alpha = ,05.					

Berat_Basah				
Duncan ^{a,b}				
Tanaman	N	Subset		
		1	2	3
2,00	12	31,7500		
1,00	12		38,1667	
3,00	12			45,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 Based on observed means.
 The error term is Mean Square(Error) = 54,972.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.
 b. Alpha = ,05.

RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Athiyyatun
2. Tempat & tgl.Lahir : Kebumen, 18 Maret 2003
3. Alamat Rumah : Tanuraksan, Kebumen
4. HP : 089618247636
5. Email : athiyyatun98@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. MIN 1 Kebumen Lulus tahun 2015
 - b. SMPN 2 Kebumen Lulus tahun 2018
 - c. SMAN 2 Kebumen Lulus tahun 2021
 - d. UIN Walisongo Semarang Lulus tahun 2025
2. Pendidikan Nonformal
 - a. Ponpes Lifeskill Daarunajaah 2021- Sekarang
3. Pengalaman Organisasi
 - a. Anggota KS Lingkungan 2023
 - b. Anggota IMAKE Walisongo Semarang 2022