

SKRIPSI

**MIKOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA SEDIMEN IPAL
MENGUNAKAN *Aspergillus niger* DENGAN PENAMBAHAN VARIASI
*BULKING AGENT***

Disusun Oleh:

Greshie Kristini Kallang

NPM: 150801599



**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNOBIOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
YOGYAKARTA
2020**

**MIKOREMEDIASI LIMBAH LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA
SEDIMEN IPAL MENGGUNAKAN *Aspergillus niger* DENGAN
PENAMBAHAN VARIASI *BULKING AGENT***

SKRIPSI

Diajukan kepada Program Studi Biologi

Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

guna memenuhi sebagai syarat untuk memperoleh

derajat S-1

Disusun Oleh :
Greshie Kristini Kallang
NPM: 150801599



**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNOBIOLOGI,
PROGRAM STUDI BIOLOGI
YOGYAKARTA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan Skripsi dengan judul

**MIKOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (FE) PADA SEDIMEN IPAL
MENGUNAKAN *Aspergillus niger* DENGAN PENAMBAHAN VARIASI
*BULKING AGENT***

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

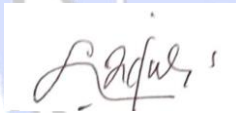
Greshie Kristini Kallang
NPM: 150801599

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji
Pada hari Selasa, 16 Juni 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

SUSUNAN TIM PENGUJI

Dosen Pembimbing Utama,

Anggota Tim Penguji,



(Dra. L. Indah M Yulianti, M. Si)

(Drs. A. Wibowo Nugraha Jati, M.S)

Dosen Pembimbing Pendamping,



(Drs. B. Boy Rahardjo Sidharta, M.Sc)

Yogyakarta, 29 Juli 2020

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

FAKULTAS TEKNOBIOLOGI

Dekan



(Dr. Dra. Exsyupransia Mursyanti, M.Si)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Greshie Kristini Kallang
NPM : 150801599
Judul Skripsi : Mikoremediasi Logam Berat Besi (Fe) pada Sedimen IPAL
Menggunakan *Aspergillus niger* dengan Variasi
Penambahan *Bulking Agent*

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul tersebut di atas adalah benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan saya susun sejujurnya berdasarkan norma akademik dan bukan merupakan hasil plagiat. Adapun semua kutipan di dalam skripsi ini telah saya sertakan nama penulisnya dan telah saya cantumkan ke dalam Daftar Pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila ternyata kemudian hari terbukti melanggar pernyataan tersebut, saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku (dicabut predikat kelulusan dan gelar kesarjanaan saya).

Yogyakarta, 3 Juni 2020

Yang menyatakan,



Greshie Kristini Kallang

150801599

HALAMAN PERSEMBAHAN

(Ayub 3:25)

”Karena yang kutakutkan, itulah yang menimpa aku, dan yang kucemaskan, itulah yang mendatangi aku”.



KATA PENGANTAR

Puji syukur terhadap Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “MIKOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA SEDIMEN IPAL MENGGUNAKAN *Aspergillus niger* DENGAN PENAMBAHAN VARIASI *Bulking agent*” ini dengan baik dan lancar. Penulisan naskah skripsi ini sebagai syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) diprogram studi Biologi, Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulisan skripsi ini banyak didukung oleh berbagai pihak maka perkenankanlah penulis mengucapkan rasa terimakasih dan rasa hormat kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat-Nya penulis dapat menyusun naskah skripsi ini dengan baik dan lancar.
2. Ibu Dr. Dra. Exsyupransia Mursyanti, M.Si selaku dekan Fakultas Teknobiologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Ibu Dra. L. Indah Murwani, Y, M.Si selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Drs. B. Boy Rahardjo Sidharta, M.Sc selaku dosen pembimbing pendamping yang memberikan bimbingan, saran dan motivasi selama penyusunan naska skripsi ini.
4. Bapak Drs. A. Wibowo Nugraha Jati, M.S. Selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji saya pada sidang pendedaran.
5. Bapak Ir. Ign. Pramana Yuda, M.Si, Ph. D selaku kepala laboratorium Teknobiologi-Lingkungan yang berkenan memberikan izin untuk

menggunakan laboratorium dan Bapak F. X Widyo Hartanto selaku laboran Lab. Teknobia-Lingkungan yang baik meminjamkan peralatan laboratorium, serta Ibu Wati selaku laboran Lab. Teknobia- Industri yang baik meminjamkan peralatan laboratorium dan memberikan arahan.

6. Kepala Balai PISAMP Dinas PUP-ESDM DIY yang telah memberikan izin pengambilan sampel sedimen, sehingga membantu dalam penelitian penulis.
7. Mama Rosalina Rinni dan Bapak Nikolas Kallang sebagai orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan, nasehat dan materi dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan naskah skripsi.
8. Adik Sisiliana Kallang dan Hizkia Kallang yang selalu memberikan semangat serta doa.
9. Vincentius Setyabudi, Billy Veringgo, Fransiskus Audi, Stephanus Catur selaku teman yang baik dalam menemani penulis semasa penelitian sehingga terselesaikan dan membantu dalam penyusunan naskah skripsi.
10. Dhevy Krismayanti Rosari, Ester Sinaga, Patricia Inggit, Teraharapani, Rona Meisyara, Noviea Verinoka, Regina Yescika, Steven Tomi, Rosalia Nindya, Larisa Gita Cahyani, Felicia Grace, Elizabeth Rani, Onintia Maharani, Sintikhe Andrianita Mabruaru, Ester Dani, Rumondang Betsy Sigalingging dan teman-teman pejuang penelitian yang selalu memberikan semangat, saran dan suplai makanan selama masa penelitian dan penyusunan naskah skripsi.

11. KESMAS 2016/2017 yang memberikan pengalaman untuk penulis dalam mengembangkan pribadi dan memberikan semangat.
12. Keluarga FTB UAJY 2015 yang telah memberikan cerita, warna, dan pengalaman baru dalam kehidupan penulis.
13. Distrik 3 KKN 74 Sintang-Sekadau yang memberikan semangat untuk penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam pembuatan naskah skripsi ini. Akhir kata penulis berharap naskah skripsi ini dapat menambah warna dalam ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 7 Mei 2020

Penulis

DAFTAR ISI

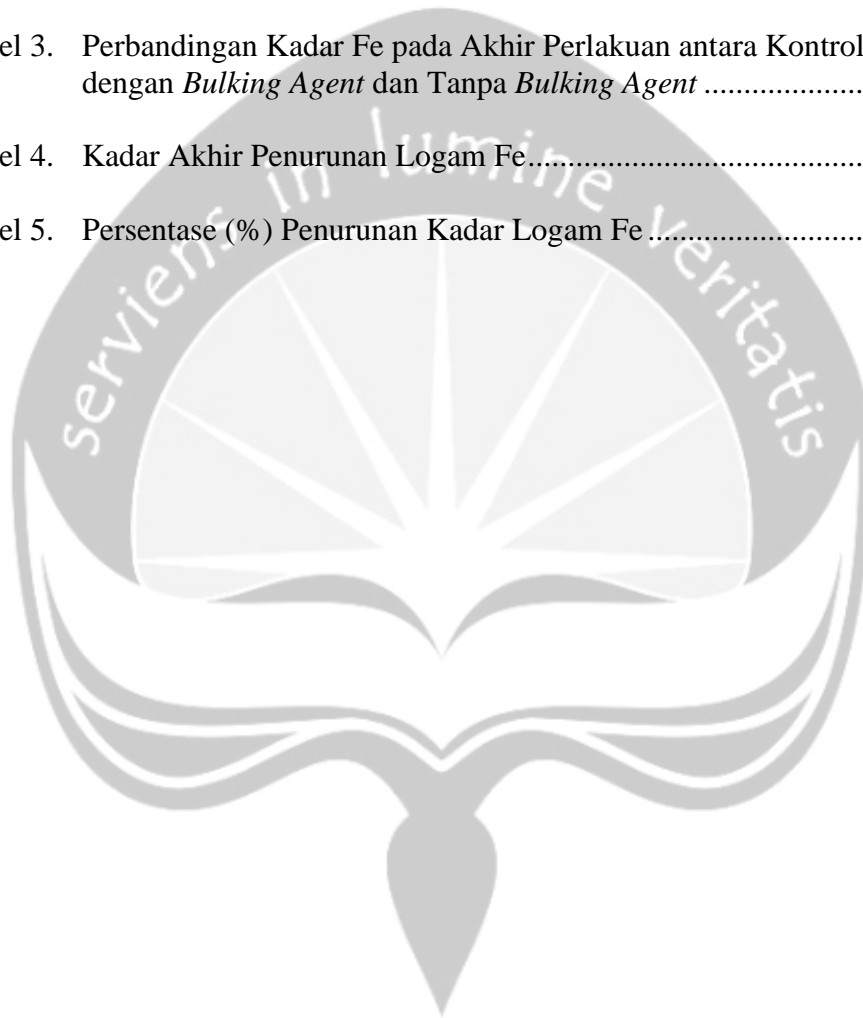
	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Keaslian Penelitian	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA ...	8
A. Logam Berat	8
B. Logam Berat Besi (Fe)	10
C. Bioremediasi Logam	14
D. <i>Aspergillus niger</i>	16
E. <i>Bulking Agent</i>	22

	Halaman
F. Hipotesis	23
III. METODE PENELITIAN	24
A. Tempat dan Waktu Penelitian	24
B. Alat dan Bahan	24
C. Rancangan Percobaan	25
D. Tahap penelitian	26
1. Pengambilan Sampel	26
2. Pembuatan Medium <i>Potato Dextrose Agar</i> (PDA) dan Medium <i>Potato Dextrose Broth</i> (PDB)	26
a. Pembuatan Medium <i>Potato Dextrose Agar</i> (PDA)	26
b. Pembuatan Medium <i>Potato Dextrose Broth</i> (PDB)	27
3. Subkultur, Karakterisasi dan Pembuatan Kurva Pertumbuhan <i>Aspergillus niger</i>	27
a. Subkultur <i>Aspergillus niger</i>	27
b. Karakterisasi Morfologi Koloni dan Sel <i>Aspergillus niger</i>	27
c. Pembuatan Kurva Pertumbuhan <i>Aspergillus niger</i> dengan Metode Berat Kering	28
4. Uji Karakteristik Sedimen IPAL	29
a. Pengukuran Konsentrasi Logam Berat Fe (Besi) Awal dan Akhir	29
b. Pengukuran pH.....	30
c. Pengukuran Suhu	31
5. Penerapan <i>Aspergillus niger</i> pada Sedimen IPAL	31
6. Analisis Total Koloni <i>Aspergillus niger</i>	31

7. Analisis Data	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Karakterisasi <i>Aspergillus niger</i>	33
B. Kurva Pertumbuhan <i>Aspergillus niger</i>	35
C. Mikoremediasi Logam Berat Fe (Besi) oleh <i>Aspergillus niger</i>	36
a. Perbandingan Perlakuan dengan Kontrol	36
b. Penurunan Kadar Logam Fe pada Tiap Perlakuan	40
c. Presentase Penurunan kadar Logam Fe pada Tifa Perlakuan.....	43
V. SIMPULAN DAN SARAN	47
A. Simpulan	47
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	57

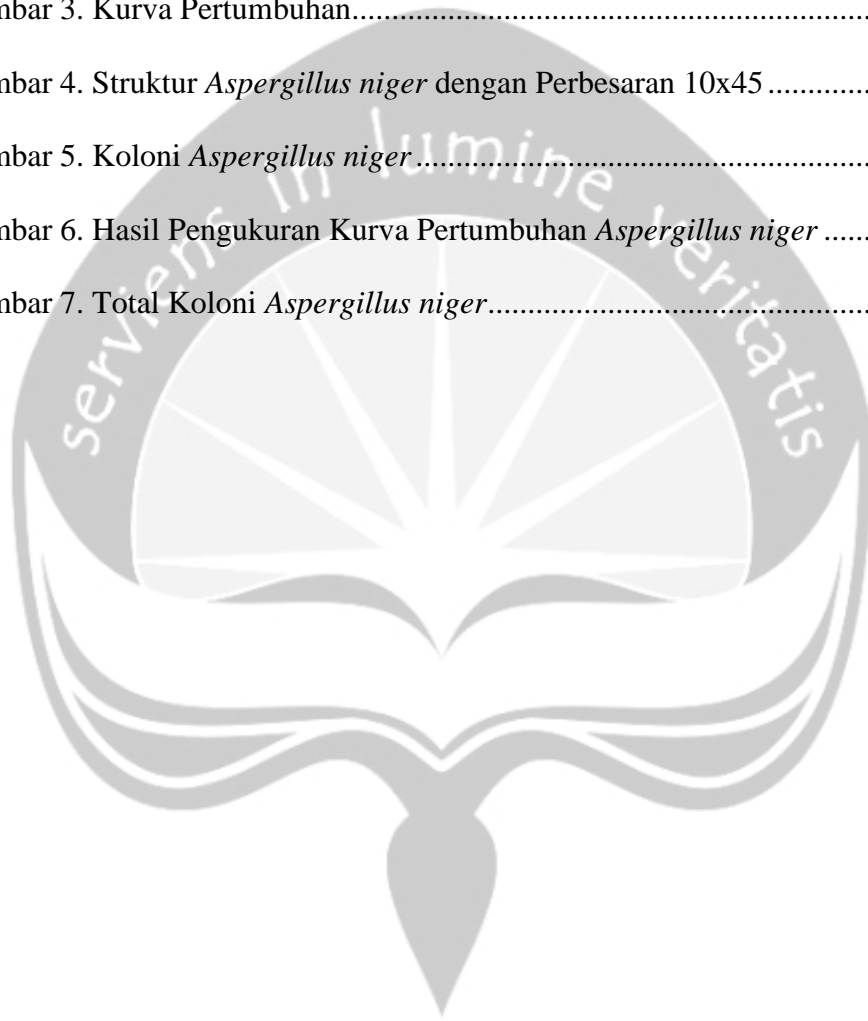
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Rancangan Percobaan	25
Tabel 2. Perbandingan Kadar Fe pada Akhir Perlakuan antara Kontrol dengan <i>Aspergillus niger</i>	37
Tabel 3. Perbandingan Kadar Fe pada Akhir Perlakuan antara Kontrol dengan <i>Bulking Agent</i> dan Tanpa <i>Bulking Agent</i>	38
Tabel 4. Kadar Akhir Penurunan Logam Fe.....	41
Tabel 5. Persentase (%) Penurunan Kadar Logam Fe	43



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Aspergillus niger</i>	17
Gambar 2. Mekanisme Penyerapan Logam Berat Oleh Mikroorganisme	18
Gambar 3. Kurva Pertumbuhan.....	21
Gambar 4. Struktur <i>Aspergillus niger</i> dengan Perbesaran 10x45	33
Gambar 5. Koloni <i>Aspergillus niger</i>	34
Gambar 6. Hasil Pengukuran Kurva Pertumbuhan <i>Aspergillus niger</i>	35
Gambar 7. Total Koloni <i>Aspergillus niger</i>	42



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	57
Lampiran 2. Hasil Uji Logam Fe dengan AAS.....	62
Lampiran 3. Hasil SPSS.....	65
Lampiran 4. Perhitungan.....	68



INTISARI

Aspergillus niger merupakan salah satu spesies yang berasal dari genus *Aspergillus*, spesies ini digunakan karena dapat dibiakkan dengan baik dalam media agar, ramah lingkungan dan bernilai ekonomis. *Aspergillus niger* dapat dijumpai pada lingkungan sekitar seperti pada tanah dan tanaman. *Aspergillus niger* merupakan fungi yang berfilamen karena masuk dalam kelompok *ascomycete*, dan spora berwarna hitam. Kondisi lingkungan yang dapat mendukung pertumbuhan *Aspergillus niger* memiliki kisaran suhu optimal 35-37°C, pH optimal pertumbuhan 6,0 dan kelembaban sekitar 88-89%. Kemampuan *Aspergillus niger* mentoleransi kadar logam Fe sebesar 200 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Aspergillus niger* untuk menurunkan kadar besi (Fe) dalam sedimen IPAL. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan variasi konsentrasi sebesar 15 dan 20% dengan penambahan *bulking agent*. Parameter yang digunakan adalah suhu, pH, total koloni *Aspergillus niger* yang diukur pada hari ke-1, 3, dan 5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Aspergillus niger* mampu menurunkan kadar logam besi (Fe) dengan persentase 40,02% dengan konsentrasi sebesar 15% dan penambahan sekam padi.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan populasi manusia saat ini sangatlah pesat, di Indonesia sekitar 2,3% per tahun bahkan mencapai 5,4% per tahunnya terlebih di bagian perkotaan (Widiyanto dkk, 2015). Perkembangan populasi manusia yang berkembang pesat artinya bertambah juga aktivitas untuk memenuhi segala kebutuhan, sehingga jumlah limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas akan mengalami peningkatan (Sunarsih, 2014). Limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik dari produksi industri maupun domestik (rumah tangga) (Waluyo, 2018).

Limbah cair domestik merupakan hasil buangan yang berasal dari kegiatan rumah tangga. Limbah cair domestik pada dasarnya berasal dari kegiatan seperti mandi, mencuci, penggunaan WC, dan bagian dapur. Kandungan yang terdapat di dalam limbah cair domestik adalah 99,9% air dan 0,1% zat padat. Zat padat tersebut terdiri dari 85% protein, 25% karbohidrat, 10% lemak dan sisanya adalah zat anorganik berupa butiran pasir, garam-garam dan logam (Doraja dkk, 2012).

Adanya limbah cair domestik yang dihasilkan dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan termasuk kualitas perairan (Yuda dan Purnomo, 2018), karena kandungan yang ada di dalamnya (Suoth dan Nazir, 2016). Oleh sebab itu, untuk menanggulangi limbah cair yang dihasilkan, maka Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah, tempat limbah

cair rumah tangga akan disalurkan, ditampung, dan diolah ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan yang terkandung atau terlarut di dalam air limbah sehingga air limbah dapat dibuang ke badan air (Siregar, 2005).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sewon dalam perencanaan kerjanya mengolah air limbah domestik yang berasal dari sumber-sumber seperti kamar mandi, WC, dapur serta air hasil cucian. Selain itu, IPAL Sewon juga menerima limbah cair yang berasal dari industri kecil atau industri rumah tangga, sehingga menyebabkan adanya logam berat yang terkandung pada air limbah yang akan bermuara di endapan lumpur (Triyono, 2015). Salah satu sumber logam berat besi (Fe) pada IPAL Sewon adalah limbah batik, kadar logam berat besi (Fe) pada salah satu industri batik di Yogyakarta sebesar 1,9 ppm (Putra dkk, 2014).

Lumpur IPAL Sewon mengandung unsur yang juga dibutuhkan oleh tanaman, seperti Natrium, fosfor dan Kalium. Selain unsur yang dibutuhkan tanaman, lumpur IPAL Sewon juga mengandung bahan organik dan bahan *volatile* (Triyono, 2015). Bahan organik yang terkandung dalam limbah cair berupa protein, karbohidrat, minyak dan lemak, serta bahan *volatile* yang terkandung dalam limbah berupa gas yang terlarut, seperti hidrogen sulfida (H_2S) (Mubin, 2016). Oleh sebab itu, lumpur IPAL Sewon sempat dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman oleh para petani (Triyono, 2015), namun saat mengetahui adanya kandungan logam berat maka tidak dilanjutkan lagi pemanfaatannya sebagai pupuk dan hanya didiamkan saja pada unit *sludge*

drying bed (Triyono, 2015) dan menurut PP nomor 101 tahun 2014 sedimen IPAL termasuk dalam golongan B3.

Besi (Fe) merupakan logam berat yang termasuk dalam kelompok tidak beracun, namun logam besi (Fe) yang melebihi 0,3 mg/L dapat mengganggu kesehatan manusia (Botahala, 2019). Gangguan kesehatan tersebut berupa rusaknya dinding usus, iritasi, mual dan akan mengalami pusing (Harliyanti dkk, 2016). Menurut Febriana dan Ayuna (2015), kadar besi (Fe) pada permukaan air tanah tidak melebihi 1 mg/ L. Kadar besi (Fe) dalam perairan yang mendapat aerasi yang cukup tidak melebihi 0,3 mg/L. Air tanah dengan kadar oksigen rendah, biasanya memiliki kandungan Fe berkisar 10-100 mg/L, sedangkan untuk perairan laut kandungan Fe sebesar 0,01 mg/L (Effendi, 2003).

Salah satu cara yang digunakan untuk mengolah limbah lumpur IPAL adalah dengan proses bioremediasi. Bioremediasi adalah suatu proses yang memanfaatkan makhluk hidup terutama mikroorganisme (Nugroho dan Rahayu, 2017), untuk membersihkan lingkungan yang tercemar dari polutan (Gandjar dkk, 2006). Umumnya mikroorganisme yang digunakan dalam proses bioremediasi adalah bakteri, jamur (Nugroho dan Rahayu, 2017), dan tanaman tingkat tinggi (Park dkk, 2011). Bakteri, jamur dan tanaman tingkat tinggi dalam bioremediasi memiliki kemampuan hidup di lingkungan yang tercemar, serta mampu mengubah zat yang berbahaya menjadi tidak berbahaya dengan memanfaatkan kontaminan sebagai sumber energi (Park dkk, 2011). Contoh mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai penurun atau pendegradasi

pencemaran lingkungan seperti *Bacillus*, *Citrobacter*, *Pseudomonas*, *Plectonema*, *Saccharomyces* dan *Aspergillus* (Maulana dkk, 2017).

Salah satu pendekatan yang sudah dilakukan pada proses bioremediasi adalah mikoremediasi. Mikoremediasi merupakan proses degradasi menggunakan fungi (Kurniawan dan Ekowati, 2016). Fungi dalam proses bioremediasi mampu memanfaatkan senyawa yang berbahaya sebagai sumber nutrisi dan mendegradasi atau memfermentasikan polutan tersebut menjadi bentuk yang sederhana yang bersifat tidak toksik (Kurniawan dan Ekowati, 2016).

Aspergillus niger merupakan salah satu spesies yang berasal dari genus *Aspergillus*, spesies ini digunakan karena dapat dibiakkan dengan baik dalam media agar, ramah lingkungan dan bernilai ekonomis (Komari dkk, 2008). Selain itu, dalam kondisi hidup ataupun mati, hifanya mampu menyerap logam yang ada pada limbah (Hidayat dkk, 2016). Melihat kemampuan dari *Aspergillus niger* maka pada proses remediasi sedimen yang mengandung besi digunakan *Aspergillus niger* sebesar 15 dan 20%.

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Primadipta dan Titah pada tahun 2017, dengan melakukan mikoremediasi pada lumpur alum menggunakan *Aspergillus niger* dengan konsentrasi 5 dan 10% dengan penambahan serbuk gergaji sebagai *bulking agent* sebesar 3%. Konsentrasi yang paling baik adalah 10% *Aspergillus niger* yang ditambah 3% *bulking agent* dengan penyisihan aluminium sebesar 10,11%. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan

Aspergillus niger dengan konsentrasi 15 dan 20% dengan harapan *Aspergillus niger* dapat lebih banyak menyisihkan logam berat besi (Fe).

Bulking agent merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk menjaga kelembaban, pH, rasio pertukaran antara karbon dan nitrogen, serta nutrisi (Batham dkk, 2013). *Bulking agent* yang akan digunakan adalah serbuk gergaji dan sekam padi masing-masing sebanyak 3% (Primadipta dan Titah, 2017). Hal ini dilakukan untuk melihat efektifitas dari masing-masing bahan yang digunakan.

B. Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai sedimen IPAL masih jarang dilakukan, sehingga diperlukan penelitian tambahan untuk mengetahui metode terbaik dalam mengurangi kandungan logam besi (Fe) dalam sedimen IPAL. Salah satu penelitian yang sudah pernah dilakukan menggunakan metode bioremediasi adalah penelitian Primadipta dan Titah (2017) pada limbah lumpur alum, penelitian tersebut dilakukan menggunakan bantuan *Aspergillus niger* 10% dan penambahan serbuk gergaji 3% sebagai *bulking agent*. Hasil yang didapatkan penurunan limbah aluminium sebesar 10,11% (Primadipta dan Titah, 2017).

Penambahan *bulking agent* dalam proses bioremediasi berfungsi sebagai pengatur porositas, kelembaban, serta sumber nutrisi. Laju biodegradasi pada bioremediasi juga dapat ditingkatkan dengan adanya penambahan *bulking agent* (Primadipta dan Titah, 2017). Sekam padi sebanyak 500 g yang digunakan dalam proses degradasi hidrokarbon berhasil menyisihkan sebesar 97% selama

kurang lebih 2 bulan masa inkubasi (Nwankwegu dkk, 2017). Penggunaan sekam padi pada proses bioremediasi dapat meningkatkan pertumbuhan jamur lebih baik dibandingkan dengan pertumbuhan bakteri (Nwankwegu dkk, 2017).

Serbuk gergaji juga dapat digunakan sebagai *bulking agent* karena mempunyai kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan jamur dibandingkan bakteri (Nwankwegu, 2016). Serbuk gergaji yang digunakan dalam proses biodegradasi hidrokarbon sebanyak 500 g berhasil menyisihkan sebesar 96,0 %. Peningkatan degradasi tersebut pada minggu ke-6 dan ke-8 (Nwankwegu, 2016).

Penelitian lain yang terkait dengan penggunaan *bulking agent* dalam proses bioremediasi juga dilakukan oleh Alvim dan Pontes (2018), dapat diketahui dengan penambahan serbuk gergaji 5% dan aerasi dapat meningkatkan jumlah pertumbuhan mikroorganisme sebesar 6.000 CFU/gr bila dibandingkan dengan perlakuan lain serta proses biodegradasi biodisel menjadi efektif karena keberhasilan degradasi paling tinggi sebesar 24,79 mg O₂ kg⁻¹.

C. Rumusan Masalah

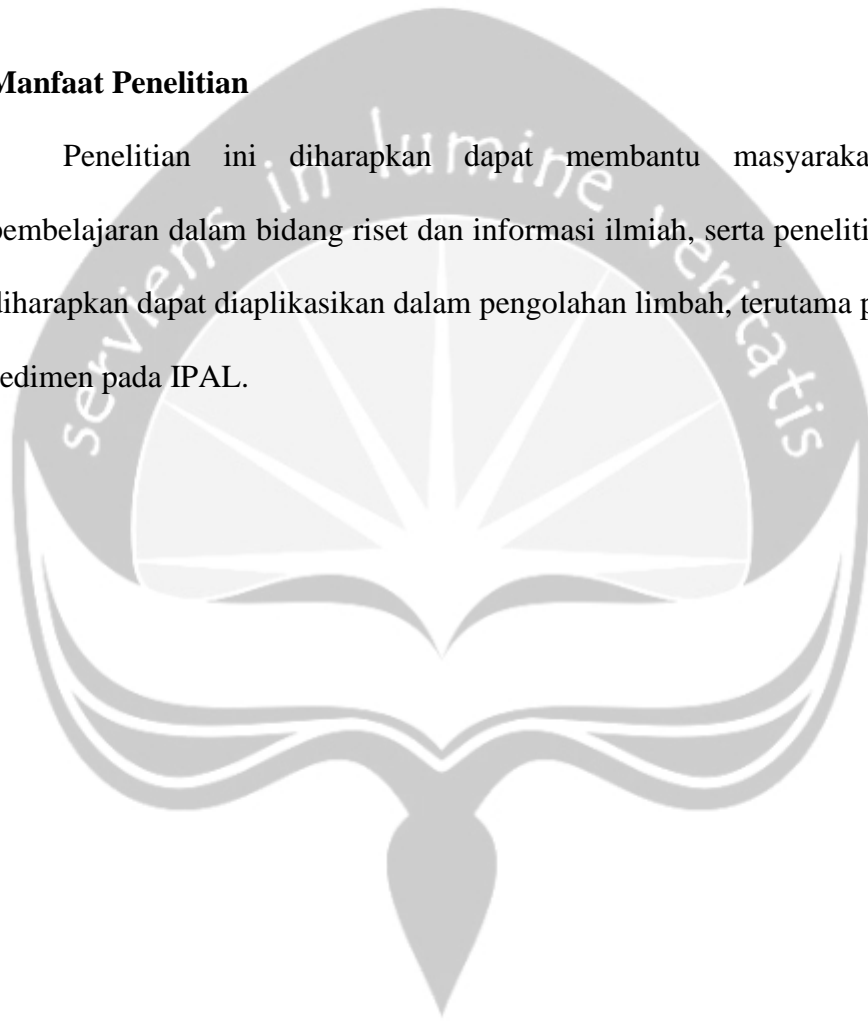
1. Pada konsentrasi berapakah *Aspergillus niger* dapat meremediasi logam Fe yang lebih baik?
2. Perlakuan *bulking agent* manakah yang paling baik untuk meremediasi logam Fe?

D. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui konsentrasi *Aspergillus niger* yang lebih baik dalam meremediasi logam Fe.
2. Mengetahui perlakuan *bulking agent* terbaik dalam meremediasi logam Fe.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat sebagai pembelajaran dalam bidang riset dan informasi ilmiah, serta penelitian ini juga diharapkan dapat diaplikasikan dalam pengolahan limbah, terutama pengolahan sedimen pada IPAL.



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia yang mempunyai kerapatan atom lebih besar dari 5 g/cm^3 (Agarwal, 2009) atau logam berat merupakan logam yang memiliki berat molekul di atas 40 dan untuk berat molekul yang kurang dari 40 disebut dengan logam ringan (Chen, 2012). Logam berat dengan kadar yang tidak berlebih sangat penting untuk kehidupan dan ekosistem, namun bila konsentrasi logam berat dengan kadar yang berlebih dapat memberikan efek yang beracun bagi kesehatan maupun lingkungan (Wang dkk, 2009). Contoh efek logam berat terjadi kerusakan jaringan pada manusia, terutama pada jaringan detoksikasi dan ekskresi yaitu hati dan ginjal, selain itu dapat memicu pembentukan kanker serta teratogenik (kerusakan pada janin) (Agustina, 2014). Salah satu contoh pencemaran lingkungan pada sungai yang diakibatkan logam berat akan terjadi perubahan ekosistem muara berupa perubahan temperature, pH, BOD, COD serta akan mempengaruhi kehidupan flora dan fauna (Heriyanto, 2011). Unsur-unsur yang termasuk ke dalam kelompok logam berat adalah bismuth, kadmium, kobalt, tembaga, galium, emas, besi, timah, mangan, merkuri, nikel, platinum, perak, telurium, talium, timah, uranium, vanadium, dan zeng (Chen, 2012).

Logam berat terbagi dalam dua kelompok yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah tertentu. Logam berat esensial dapat bersifat racun bagi tubuh manusia bila dikonsumsi secara berlebihan. Logam berat non-

esensial merupakan logam berat yang sampai saat ini belum diketahui fungsinya dalam tubuh manusia, serta logam berat non-esensial mempunyai sifat yang beracun (Syaifullah dkk, 2018).

Contoh logam berat esensial yaitu Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Mn dan Ni. Sedangkan, contoh logam non esensial yaitu Cd dan Pb (Mekassa dan Chandravanshi, 2015). Logam juga mempunyai sifat yang berbeda dengan senyawa beracun yang lainnya karena sifatnya yang tidak dapat disintesis atau dimusnahkan serta dihancurkan dalam tubuh manusia (Sembel, 2015). Menurut Chen (2012), logam berat mempunyai karakteristik umum, seperti:

1. Logam merupakan konduktor listrik yang baik.
2. Logam mempunyai sifat yang lentur sehingga dapat membentuk lembaran serta kabel.
3. Logam memiliki konduktivitas termal yang yang tinggi.
4. Logam berada di alam sebagai logam oksida, logam karbonat atau logam sulfat.

Menurut Jain dan Gauba (2017), logam berat masuk ke dalam lingkungan secara alami melalui proses pelapukan dan letusan gunung api. Namun, keberadaan logam berat di lingkungan juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia. Contoh aktivitas tersebut berupa kegiatan rumah tangga yang menghasilkan limbah, industri, pertanian, farmasi dll (Jain dan Gauba, 2017).

Menurut Jiwan dan Ajay (2011), logam berat dianggap menjadi salah satu sumber utama dalam pencemaran tanah, karena dapat memberikan efek toksik atau beracun bagi mikroorganisme tanah. Hal tersebut dapat menyebabkan

perubahan pada keanekaragaman, perubahan ukuran populasi dan perubahan aktivitas oleh mikroba tanah. Adanya pencemaran logam berat pada tanah, berpotensi mengancam kesehatan manusia, hal tersebut dapat terjadi melalui rantai makanan. Mengonsumsi makanan yang mengandung logam berat dapat berakibat terjadi pengurangan nutrisi penting dalam tubuh, yang selanjutnya akan berdampak pada imunologis, kecacatan yang diakibatkan kekurangan gizi, berpotensi kanker pada saluran pencernaan (Jiwan dan Ajay, 2011).

B. Logam Berat besi (Fe)

Menurut Botahala (2019), besi adalah logam berat yang memiliki warna putih perak dan mempunyai simbol Fe, serta mempunyai nomor valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, dan 6). Besi (Fe) merupakan logam yang dihasilkan dari biji besi. Besi jarang sekali ditemukan dalam keadaan bebas, sehingga untuk mendapat unsur besi yang bebas harus dilakukan pemisahan dengan cara penguraian kimia (Botahala, 2019).

Besi (Fe) termasuk dalam logam yang bersifat esensial pada hewan, manusia, dan tanaman. Besi memiliki peran sebagai mineral makro di kerak bumi, namun dalam sistem biologi tubuh, besi (Fe) berperan sebagai mineral mikro (Wijayanti, 2017). Besi sebagai mineral mikro akan berperan dalam transfer oksigen oleh sel darah merah, berperan penting juga dalam memproduksi hemoglobin dan beberapa enzim (Mohammed dkk, 2019).

Menurut Abbaspour dkk (2014), kebutuhan besi (Fe) untuk manusia ditentukan menurut umur dan jenis kelamin. Umur sekitar 4-12 bulan

membutuhkan 0,96 mg/hari, 13-24 bulan membutuhkan 0,61 mg/hari, 2-5 tahun membutuhkan 0,70 mg/hari, 6-11 tahun membutuhkan 1,17 mg/hari. Kebutuhan akan besi (Fe) untuk wanita pada umur 12-16 meningkat menjadi 2,02 mg/hari, sedangkan untuk pria dengan umur yang sama hanya membutuhkan 1,82 mg/hari. Wanita dewasa yang sedang mengalami kehamilan membutuhkan besi (Fe) sebesar 1,14 mg/hari, wanita yang sedang menyusui membutuhkan besi (Fe) 1,31 mg/hari, wanita menstruasi membutuhkan besi (Fe) 2,38 mg/hari, dan wanita yang memasuki masa menopause membutuhkan besi (Fe) 0,96 mg/hari (Abbaspour dkk, 2014).

Konsentrasi besi (Fe) dalam tubuh yang berlebihan akan mengakibatkan muntah-muntah dan diare. Bila besi (Fe) dikonsumsi terus menerus secara tidak sengaja akan menyebabkan berbagai penyakit seperti diabetes, pankreatitis, kardiomiopati, gangguan fungsi hepar, disfungsi ereksi, perubahan warna kulit menjadi abu-abu atau perunggu, radang sendi dan hipotiroid (Tih dkk, 2015). Besi (Fe) yang masuk ke dalam tubuh akan terakumulasi dalam bentuk ferritin ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), ferritin akan menjadi sumber bagi Fe dalam melakukan reaksi peroksidasi lipid yang akan menghasilkan radikal bebas (Tih dkk, 2015).

Terbentuknya radikal bebas ini akan mengganggu oksidasi pada tingkat seluler dan glutathione (Tih dkk, 2015). Besi (Fe) merupakan salah satu nutrient yang dibutuhkan *Aspergillus niger* dalam konsentrasi yang sedikit atau mikro, kebutuhan besi (Fe) sebagai salah satu nutrient untuk mendukung pertumbuhan *Aspergillus niger* (Irma, 2015). Namun, besi (Fe) dalam konsentrasi yang melewati kadar toleransi yang dimiliki *Aspergillus niger*, maka besi (Fe) akan

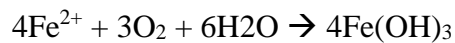
bersifat toksik atau menjadi racun (Kurniawan dan Ekowati, 2016). Menurut Akpor dkk (2015), *Aspergillus niger* mampu hidup dan mentoleransi kadar logam berat besi (Fe) sebesar 200 mg/ L (Akpor dkk, 2015).

Umumnya besi (Fe) yang berada di dalam air, bersifat terlarut dalam bentuk ferro (Fe II) Fe^{2+} atau ferri (Fe III) Fe^{3+} atau tersuspensi dalam bentuk butir koloidal yang memiliki diameter $< 1\mu\text{m}$ (Febriana dan Ayuna, 2015). Besi (Fe) juga berbentuk lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ukuran-ukuran tersebut akan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganis, contohnya seperti tanah liat (Febriana dan Ayuna, 2015).

Logam berat besi (Fe) secara alami terkandung di dalam tanah, keberadaan tersebut diperkirakan berasal dari pelapukan batu-batuan (batuan induk). Keberadaan logam berat besi (Fe) dalam tanah dan logam lainnya seperti silikon (Si), aluminium (Al), kalsium (Ca), natrium (Na), kalium (K), dan magnesium, mempunyai pengaruh besar terhadap sifat fisik serta kimia tanah (Komarawidjaja, 2017). Oleh sebab itu, konsentrasi besi (Fe) dalam tanah tinggi, diperkirakan sebesar 50.000 ppm dan kebanyakan berperan dalam menyusun fraksi tanah (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

Besi (Fe) di dalam tanah berbentuk ferioksida (Fe_2O_3) dan di batuan berbentuk ferihidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Selain itu, besi juga memiliki bentuk yang berbeda di dalam air, yaitu ferobikarbonat ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$), ferohidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), ferosulfat (FeSO_4) dan berbentuk organik kompleks (Febriana dan Ayuna, 2015). Bila ferioksida (Fe_2O_3) berada di dalam air, akan berikatan dengan bikarbonat (fero bikarbonat), dan ferro terlarut (Batara dkk, 2017).

Menurut Situmorang (2016), air yang berada di dalam tanah mengandung Fe^{2+} yang memiliki sifat terlarut di dalam air, dimana air yang mengandung Fe^{2+} bersifat jernih. Hal tersebut juga dikarenakan kandungan oksigen rendah atau terdapat lapisan tanah. Air permukaan mengandung besi (Fe) yang berbentuk Fe^{3+} , dikarenakan adanya kontak langsung dengan oksigen dan Fe^{2+} mempunyai sifat yang reaktif terhadap oksigen, sehingga berubah menjadi Fe^{3+} yang bersifat stabil (sukar larut dalam air), reaksi perubahan Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} adalah:



Air tanah pada umumnya mengandung ion logam yang tinggi, sebagai contohnya adalah logam besi (Fe), konsentrasi besi (Fe) dalam air tanah berkisar 1- 10 mg/L (Said, 2005). Sedangkan, kadar besi (Fe) dalam air permukaan tidak melebihi 1 mg/L (Joko dan Rachmawati, 2016). Konsentrasi besi (Fe) dalam air minum sebesar 0,3 mg/L (Ighariemu dkk, 2019).

Ciri-ciri air yang mengandung besi (Fe), yaitu pipa mudah berkarat, airnya berwarna kemerahan, adanya lapisan coklat atau endapan coklat (Joko dan Rachmawati, 2016). Diperkirakan sumber logam berat besi (Fe) pada IPAL Sewon berasal dari limbah industri rumahan seperti limbah batik, kadar logam berat besi (Fe) pada salah satu industri batik di Yogyakarta sebesar 1,9 ppm (Putra dkk, 2014). Selain itu, logam berat besi (Fe) dapat berasal dari rumah rumah tangga dimana menggunakan air sumur yang mengandung besi (Fe) sehingga terbawa sampai ke IPAL, salah satu contohnya kadar besi (Fe) di

daerah Berbah, Sleman, Yogyakarta memiliki kadar besi (Fe) pada sumur gali sebesar 4 mg/L (Suryandari, 2018).

C. Bioremediasi Logam

Bioremediasi merupakan suatu teknik untuk mengurangi polutan dengan bantuan mikroorganisme (Sharma, 2012). Bioremediasi digunakan untuk mengurangi polutan seperti logam berat, limbah nuklir, pestisida, gas rumah kaca, dan hidrokarbon yang berada di lingkungan (Azubuike dkk, 2016). Proses bioremediasi dapat secara alami terjadi dengan bantuan mikroorganisme indigenus (bioremediasi intrinsik) atau dapat juga terjadi dengan adanya penambahan mikroorganisme dan nutrisi. Proses penambahan tersebut dapat meningkatkan ketersediaan hayati dalam medium (Sharma, 2012).

Pengurangan polutan oleh bantuan mikroorganisme terjadi karena mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk mendegradasi suatu polutan. Polutan tersebut akan diubah menjadi komponen yang akan berperan sebagai sumber nutrisi. Selain dimanfaatkan sebagai nutrisi, polutan akan dirombak menjadi polutan yang tidak bersifat toksik bagi lingkungan, sehingga akan dikembalikan ke lingkungan (Banerjee dkk, 2016). Namun, proses pengurangan polutan oleh bantuan mikroorganisme juga dapat dipengaruhi oleh konsentrasi dari mikroorganisme, bila konsentrasi mikroorganisme terlalu tinggi akan terjadi kompetisi dalam memperoleh nutrisi sehingga proses penyerapan akan menjadi tidak optimal (Khoiroh, 2014).

Mikroorganisme yang berperan dalam proses bioremediasi disebut sebagai bioremediator. Bioremediator merupakan sebutan untuk organisme yang digunakan dalam proses bioremediasi untuk membersihkan situs atau lingkungan yang terkontaminasi oleh sebuah polutan. Agen bioremediator ini bisa berupa bakteri, *archaea* dan jamur. Sifat mikroorganisme yang ramah lingkungan dan menjanjikan materi genetik yang berharga untuk mengatasi ancaman lingkungan itulah, maka digunakan dalam teknik bioremediasi (Abatenh dkk, 2017).

Bioremediasi digunakan dalam mengatasi masalah lingkungan yang tercemar dikarenakan sifatnya yang ramah lingkungan, non-invasif, terbilang murah bila dibandingkan dengan metode konvensional, dan bioremediasi dapat merubah polutan yang berbahaya menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan. Teknik bioremediasi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu bioremediasi *in situ* dan *ex situ* (Dzisionek dkk, 2016). Bioremediasi *in situ* merupakan teknik yang akan digunakan ketika tidak dimungkinkan pemindahan sampel lahan tercemar karena kontaminasinya mempengaruhi area yang luas. Bioremediasi *ex situ* merupakan teknik yang dilakukan dengan pemindahan lahan yang tercemar dengan membawa sampel dari lahan tercemar ke tempat proses, untuk sampel yang jenis semi padat atau padatan diletakkan di bioreaktor (Dzisionek dkk, 2016).

Proses untuk mendukung bioremediasi *in situ*, digunakan biostimulasi seperti penambahan nutrisi (bubur biogas, pupuk kandang, kompos dari jamur bekas, jerami padi dan tongkol jagung) atau penambahan akseptor elektron (fosfor, nitrogen, oksigen, karbon), semua ini dimasukkan ke dalam lahan yang

tercemar (Dzionic dkk, 2016). Namun, dalam proses bioremediasi *in situ* banyak yang tidak dapat dikendalikan, seperti adanya kontaminasi (Dzionic dkk, 2016). Bioremediasi *in situ* terdiri dari tiga metode dasar, yaitu *natural attenuation*, *biostimulation*, dan *bioaugmentasi* (Dzionic dkk, 2016).

Proses bioremediasi *ex situ* dikatakan lebih efisien dalam menghilangkan polutan karena dapat dilakukan pengendalian terhadap parameter fisika-kimia, sehingga dapat memperpendek waktu reklamasi (Dzionic dkk, 2016). Adapun kelemahan dari proses bioremediasi *ex situ*, yaitu adanya biaya tambahan, adanya risiko penyebaran kontaminasi selama proses pemindahan (Dzionic dkk, 2016). Bioremediasi *ex situ* terdiri dari empat metode dasar, yaitu *biopile*, *bioreaktor*, *land farming*, dan *windrows* (Azubuike dkk, 2016).

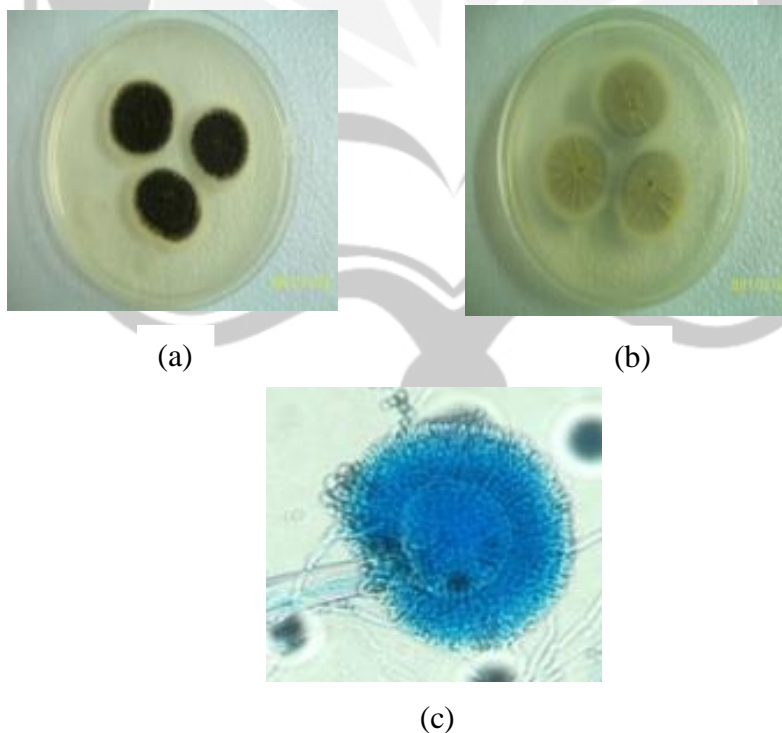
D. *Aspergillus niger*

Aspergillus mempunyai spesies yang sangat beragam, sekitar 200 spesies yang diketahui. Manfaat *Aspergillus* yang sering digunakan dalam proses fermentasi. Contohnya seperti *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus sojae*, *Aspergillus niger*, dan *Aspergillus awomori* (Machida dan Gomi, 2010). Selain itu, *Aspergillus niger* merupakan salah satu fungi yang biasa digunakan dalam proses bioremediasi karena termasuk dalam fungi yang berfilamen (Siddiquee dkk, 2015). *Aspergillus* dapat ditemukan di daratan dan biasanya diisolasi dari tanah dan tanaman (Machida dan Gomi, 2010).

Menurut Gautam dkk (2011), *Aspergillus niger* merupakan fungi yang memiliki spora berwarna hitam dan tergolong dalam fungi *ascomycete* yang

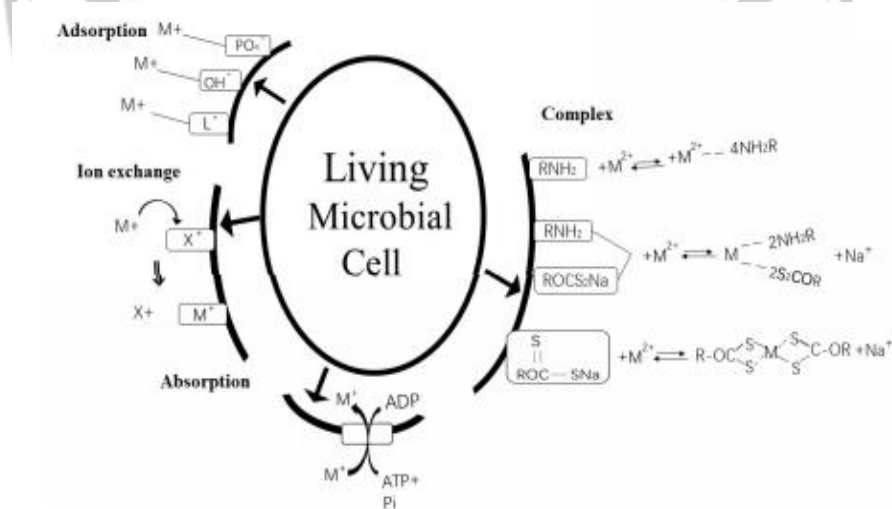
berfilamen, bentuk morfologi koloni dan morfologi sel dapat dilihat pada Gambar 1. *Aspergillus niger* mempunyai kemampuan tumbuh dengan cepat dan *Aspergillus niger* dapat dijumpai di tanah, air, udara, tanaman yang membusuk, makanan dan pakan. Menurut Gautam dkk (2011), taksonomi *Aspergillus niger*, sebagai berikut:

Domain : Eukaryota
 Kingdom : Fungi
 Phylum : Ascomycota
 Subphylum : Pezizomycotina
 Class : Eurotiomycetes
 Order : Eurotiales
 Family : Trichocomaceae
 Genus : *Aspergillus*
 Species : *niger*



Gambar 1. *Aspergillus niger* (a) Tampilan depan koloni, (b) Tampilan belakang koloni, (c) Kepala Konidia dan vesikel (Sumber: Nyongesa dkk, 2015).

Aspergillus niger dapat tumbuh secara optimum pada suhu berkisar 35-37°C, saat pertumbuhan *Aspergillus niger* juga membutuhkan oksigen yang cukup karena sifatnya yang aerobik (Muchtar dkk, 2011). *Aspergillus niger* mempunyai pH optimum pertumbuhan adalah 6,0 dan kisaran pH untuk *Aspergillus niger* dapat tumbuh adalah 1,5- 9,8. Minimal kelembaban relatif untuk pertumbuhan *Aspergillus niger* adalah 88-89% dan optimalnya berkisar 96-98%. Minimal aktivitas air untuk pertumbuhan *Aspergillus niger* adalah 0,77 dan optimumnya adalah 0,97 (Krijgsheld dkk, 2009). *Aspergillus niger* juga memiliki kemampuan toleransi terhadap logam berat besi (Fe) sebesar 200 mg/L (Akporkor dkk, 2015). Proses *Aspergillus niger* menyerap logam berat besi (Fe) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme penyerapan logam berat oleh mikroorganisme (Sumber: Jin dkk, 218).

Ciri-ciri morfologi koloni dari *Aspergillus niger* yaitu memiliki warna permukaan coklat gelap hingga hitam, pinggiran dari koloni *Aspergillus niger*

bentuknya utuh, jika koloni dilihat dari belakang koloninya tidak ada warna atau hanya warna dasar yaitu putih, bentuk koloninya *umbonate* dan pertumbuhan *Aspergillus niger* cepat (Gautam dan Bhadauria, 2011). Menurut Gandjar dkk (1999), *Aspergillus niger* bila dilihat di bawah mikroskop memiliki kepala konidia yang berwarna hitam dan berbentuk bulat, konidiofornya berdinding halus serta berwarna hialin, vesikula bulat atau semibulat, fialid terbentuk pada metula, metula berwarna hialin hingga coklat dan sering bersepta, konia berbentuk bulat. Menurut Wuryanti (2008), suatu mikroorganisme dalam kultur akan melewati beberapa fase dan kurva pertumbuhan dapat dilihat pada Gambar 3.

1. Fase Adaptasi

Fase adaptasi merupakan fase saat mikroorganisme beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya atau dengan lingkungan baru. Adanya perpindahan ke media baru akan berpengaruh terhadap cepat lambatnya suatu fase adaptasi. Bila media dan lingkungan pertumbuhan masih sama dengan media pertumbuhan sebelumnya, tidak akan memerlukan waktu adaptasi yang terlalu lama.

2. Fase Pertumbuhan Awal

Fase ini akan terjadi pembelahan oleh mikroorganisme tetapi masih menggunakan kecepatan yang rendah.

3. Fase Pertumbuhan Logaritmik

Fase ini akan terjadi pembelahan yang cepat serta stabil. Kecepatan dalam pertumbuhan pada fase ini sangat dipengaruhi pH, kandungan

nutrien yang terdapat dalam media, suhu, dan kelembaban udara. Fase ini juga merupakan fase yang sensitif untuk kultur terhadap keadaan lingkungan.

4. Fase Pertumbuhan Lambat

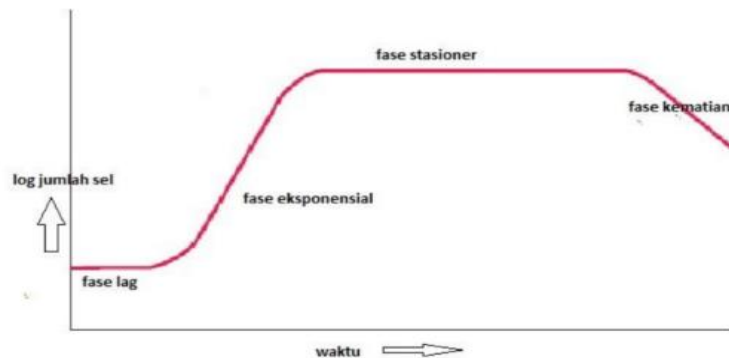
Fase pertumbuhan lambat akan terjadi perlambatan dalam pertumbuhan, Hal tersebut dikarenakan nutrisi dalam media sudah mulai berkurang. Diperkirakan juga dalam pertumbuhan terjadi pengeluaran hasil metabolisme yang bersifat racun atau menghambat pertumbuhan dari mikroorganisme. Fase ini tetap masih terjadi penambahan populasi dikarenakan jumlah sel yang tumbuh masih lebih banyak dari yang mati.

5. Fase Pertumbuhan Tetap

Fase pertumbuhan tetap akan menghasilkan jumlah sel yang setara, dimana jumlah sel hidup sama banyak dengan jumlah sel yang mati. Sel-sel yang dihasilkan akan berukuran kecil karena masih terjadi pembelahan walaupun dalam keadaan nutrisi yang sudah habis.

6. Fase Menuju Kematian dan Fase Kematian

Fase ini mulai terjadi kematian karena nutrisi sudah habis, terdapat zat beracun dan kehabisan energi cadangan dalam sel. Kecepatan kematian terjadi tergantung dari jenis mikroorganismenya, ketersediaan nutrisi dan lingkungan.



Gambar 3. Kurva pertumbuhan (Sumber: Hidayat dkk, 2018).

Menurut Gandjar dkk (2006), terdapat beberapa cara untuk mengetahui atau menentukan pertumbuhan dari fungi, cara tersebut yaitu:

1. Berat kering massa sel atau miselium
2. Kadar total nitrogen dari massa sel atau miselium
3. Kadar total asam nukleat massa sel atau miselium
4. *Optical Density* dari medium pertumbuhan

Metode berat kering massa sel atau miselium adalah salah satu cara yang digunakan untuk menentukan kurva pertumbuhan dari suatu mikroorganisme yang didasarkan pertambahan jumlah dan berat sel (Purkan dkk, 2015). Medium yang digunakan untuk mengukur kurva pertumbuhan, salah satunya dengan menggunakan medium cair yang dimasukkan ke dalam inkubator shaker. Hasil dari proses tersebut akan menghasilkan kapas-kapas kecil berwarna putih melayang-layang pada medium, bentuk-bentuk tersebut adalah spora atau konidia tunggal yang sudah tumbuh menjadi miselium. Setelah itu, untuk memisahkan miselium dari medium dilakukan penyaringan (Gandjar dkk, 2006).

E. Bulking Agent

Bulking agent merupakan suatu bahan tambahan yang digunakan untuk memperbaiki permeabilitas dan meningkatkan laju biodegradasi dalam proses pemulihan (Primadipta dan Titah, 2017). *Bulking agent* digunakan dalam proses bioremediasi untuk kebutuhan nutrisi, kelembaban, pH, udara (Batham dkk, 2013), dan porositas (Primadipta dan Titah, 2017). Ketersediaan nutrisi merupakan salah satu sumber energi untuk mikroba dalam proses bioremediasi, sedangkan untuk udara yang masuk akan melewati *bulking agent* yang akan meningkatkan porositasnya sehingga akan meningkatkan penyerapan dan degradasi bahan (Batham dkk, 2013) atau akan terjadi transfer oksigen yang akan dibutuhkan mikroba (Juliani dan Rahman, 2011).

Beberapa penelitian menyatakan *bulking agent* yang biasa digunakan adalah sekam padi, serbuk gergaji dan dedak padi. Ketiga *bulking agent* tersebut dapat meningkatkan degradasi yang baik (Batham dkk, 2013). *Bulking agent* seperti serbuk gergaji, sekam padi, dan dedak padi mempunyai kandungan karbon organik yang akan digunakan sebagai sumber energi dan pembentukan sel oleh mikrobia (Widiarti, 2010). Serbuk gergaji sebagai *bulking agent* juga mengandung polimer C dengan konsentrasi yang sangat tinggi yaitu 40-44% selulosa, 20-32% hemiselulosa, dan 25-35% lignin, serta serbuk gergaji mengandung senyawa C organik dan N organik yaitu 400- 500: 1 (Oktahariani, 2016).

F. Hipotesis

1. Konsentrasi *Aspergillus niger* dalam bioremediasi logam berat besi (Fe) pada sedimen IPAL, yang terbaik sebesar 15 %.
2. Serbuk gergaji yang paling efektif sebagai *bulking agent* dalam proses bioremediasi logam berat besi (Fe) pada sedimen IPAL.



V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian, maka didapat simpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi *Aspergillus niger* 15% lebih baik dalam mengurangi logam berat Fe dengan rata-rata penurunan 26,65%. Perlakuan besar penyisihan besi, dengan penambahan *Aspergillus niger* 15% dengan *bulking agent* sekam padi sebesar 40,02%
2. Penambahan sekam padi sebagai *bulking agent* paling baik dalam proses mikoremediasi logam berat Fe dengan rata-rata sebesar 27,58%.

B. Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian, saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai waktu mikoremediasi menggunakan *Aspergillus niger* dalam menurunkan logam berat Fe, dengan waktu yang digunakan melebihi 5 hari.
2. Sampel sedimen IPAL sebelum diberi perlakuan, dilakukan sterilisasi terlebih dahulu.

3. Perlu dilakukan penelitian dengan konsentrasi *Aspergillus niger* yang lebih dari 10% dan kurang dari 15% untuk mengetahui efektivitas *Aspergillus niger* dalam menyerap logam.



DAFTAR PUSTAKA

- Abatenh, E., Gizaw, B., Tsegaye, Z. dan Wassie, M. 2017. Application of microorganisms in bioremediation- review. *Journal of Environmental Microbiology* 1(1): 2- 9.
- Abbaspour, N., Hurrell, R. dan Kelishad, R. 2014. Review on iron its importance for human health. *Journal of Research in Medical Sciences* 19 (2): 164- 174.
- Agarwal, S. K. 2009. *Heavy Metal Pollution*. APH Publishing Corporation, New Delhi. Halaman 1
- Agustina, T. 2014. Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *Teknobuga* 1(1): 53-65.
- Akpor., Musa., Babalola. Dan Adejobi. 2015. Tolerance of *Aspergillus niger* to selected concentrations of metals and sodium chloride. *IOSR Journal of Environmetal Science, Toxicocogy and Food Technology* 9(10): 33- 37.
- Alvim, G. M dan Pontes, P. P. 2018. Aeration and sawdust application effects as structural material in the bioremediation of clayey acid soils contaminated with diesel oil. *International Soil and Water Conservation Research* 6 (3): 253- 260.
- Ariyani, S. B., Asmawit. dan Utomo, P. P. 2014. Optimasi waktu inkubasi produksi enzim selulase oleh *Aspergillus niger* menggunakan fermentasi substrat padat. *Biopropal Industri* 5 (2): 61- 67.
- Atlas, R. M. 1946. *Handbook of Microbiological Media* ^{3rd} Edition. CRC Press, Washington, D. C. Halaman 1400 dan 1403
- Atma, Y. 2016. Angka lempeng total (ALT), angka paling mungkin (APN) dan total kapang khamir sebagai metode analisis dengan sederhana untuk menentukan standar mikrobiologi pangan olahan posdaya. *Jurnal Teknologi* Volume 8(2): 1-6.
- Azubuiké, C. C., Chikere, C. B. dan Okpokwasili, G. C. 2016. Bioremediation techniques- classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal Microbiology and Biotechnology* 32 (11): 1- 18.
- Banerjee, A., Roy, A., Dutta, S. dan Mondal, S. 2016. Bioremediation of hydrocarbon- a review. *Internasional Journal of Advanced Research* 4(6): 1303- 1313.

- Batara, K., Zaman, B. dan Oktiawan, W. 2017. Pengaruh debit udara dan waktu aerasi terhadap efisiensi penurunan besi dan mangan menggunakan *Diffuser Aerator* pada air tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan* 6 (1): 1- 10.
- Batham, M., Gupta, R. dan Tiwari, A. 2013. Implementation of bulking agent in composting. *Journal of Bioremediation & Biodegradation* 4 (7): 1- 3.
- Botahala, L. 2019. *Perbandingan Efektivitas Daya Adsorpsi Sekam Padi dan Cangkang Kemiri Terhadap Logam Besi (Fe) pada Air Sumur Gali*. Penerbit Deepublish, Yogyakarta. Halaman 5 dan 7
- Chen, J. P. 2012. *Decontamination of Heavy Metals: Processes, Mechanisms, and Applications*. CRC Press, Florida. Halaman 1-2
- Doraja, P. H., Shovitri, M. dan Kuswytasari, N. D. 2012. Biodegradasi limbah domestic dengan menggunakan inoculum alami dari tangka septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS* 1 (1): 44- 47.
- Dzionic, A., Wojcieszynska, D. dan Guzik, U. 2016. Natural carriers in bioremediation: a review. *Electronic Journal of Biotechnology* 23: 28- 36.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta. Halaman 163
- Fahrudin. 2018. *Pengolahan Limbah Pertambangan Secara Biologis: Biological Management of Mining Waste*. Celebes Media Perkasa, Makassar. Halaman 135.
- Febriana, L dan Ayuna, A. 2015. Studi penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air tanah menggunakan saringan keramik. *Jurnal Teknologi* 7 (1): 35- 44.
- Fitriani, N. A., Fadillah, G. dan Enriyani, R. 2018. Pengujian kualitas tanah sebagai indikator cemaran lingkungan di sekitar pantai Tanjung Lesung, Banten. *Indonesia Journal of Chemical Analysis* 1(1): 29-34.
- Gandjar, I., Samson, R. A., Tweel-Vermeulen, K. V. D., Oetari, A. dan Santoso, I. 1999. *Pengenalan Kapang Tropik Umum*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta. Halaman 26.
- Gandjar, I., Sjamsuridzal, W. dan Oetari, A. 2006. *Mikologi : Dasar dan Terapan*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta. Halaman 41, 44 dan 144.
- Gautam, A. K. dan Bhadauria, R. 2011. Characterization of *Aspergillus niger* species associated with commercially stored tripHalamana powder. *African Journal of Biotechnology* 11(104): 16814- 16823.

- Gautam, A. K., Sharma, S., Avasthi, S. dan Bhadauria, R. 2011. Diversity, pathogenicity and toxicology of *A. niger*: an important spoilage fungi. *Research Journal of Microbiology* 6(3): 270- 280.
- Harliyanti, S. M., Sarminingsih, A. dan Nugraha, W. D. 2016. Analisis risiko logam berat Fe, Cr, dan Cu pada aliran sungai Garang. *Jurnal Teknik Lingkungan* 5 (2): 1- 8.
- Harti, A. S. 2015. *Mikrobiologi Kesehatan: Peran Biologi dalam Bidang Kesehatan*. CV. Andi Offset, Yogyakarta. Halaman 122.
- Heriyanto, N. M. 2011. Kandungan logam berat pada tumbuhan, tanah, air, ikan dan udang di hutan mangrove. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 8(4): 197-205.
- Hidayat, N., Meitiniarti, I. dan Yuliana, N. 2018. *Mikroorganisme dan Pemanfaatannya*. UB Press, Malang. Halaman 42
- Hidayat, N., Wignyanto., Sumarsih, S. dan Putri, A. I. 2016. *Mikologi Industri*. UB Press, Malang. Halaman 25
- Ibrahim, D. M., Prasetya, A. T. dan Haryani, S. 2015. Optimasi adsorpsi Pb(II) oleh biomassa *Aspergillus niger* yang diimmobilisasi pada silika gel. *Indonesian Journal of Chemical Science* 4(2): 80-83.
- Ighariemu, V., Belonwu, D. C. dan Wegwu, M. O. 2019. Heavy metals level in water, sediments and health risk assessment of Ikoli Creek, Bayelsa State, Nigeria. *Journal Environ Chem Toxicol* 3(1): 1- 6.
- Irma. 2015. Optimasi media pertumbuhan *Aspergillus niger* dengan menggunakan tepung singkong. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, Makassar.
- Jain, J. dan Gauba, P. 2017. Heavy metal toxicity-implications on metabolism and health. *Internasional Journal of Pharma and Bio Sciences* 8 (4): 452- 460.
- Jin, Y., Luan, Y. Ning, Y. dan Wang, L. 2018. Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: a critical review. *Applied sciences* 8: 1-17.
- Jiwan, S. dan Ajay, K. 2011. Effects of heavy metals on soil, plants, human and aquatic life. *Internasional Journal of Research in Chemistry and Environment* 1 (2): 15- 21.
- Joko, T. dan Rachmawati, S. 2016. Variasi penambahan media adsorpsi kontak aerasi sistem nampan bersusun (*Tray Aerator*) terhadap kadar besi (Fe) air tanah dangkal di kabupaten Rembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 15(1): 1- 5.

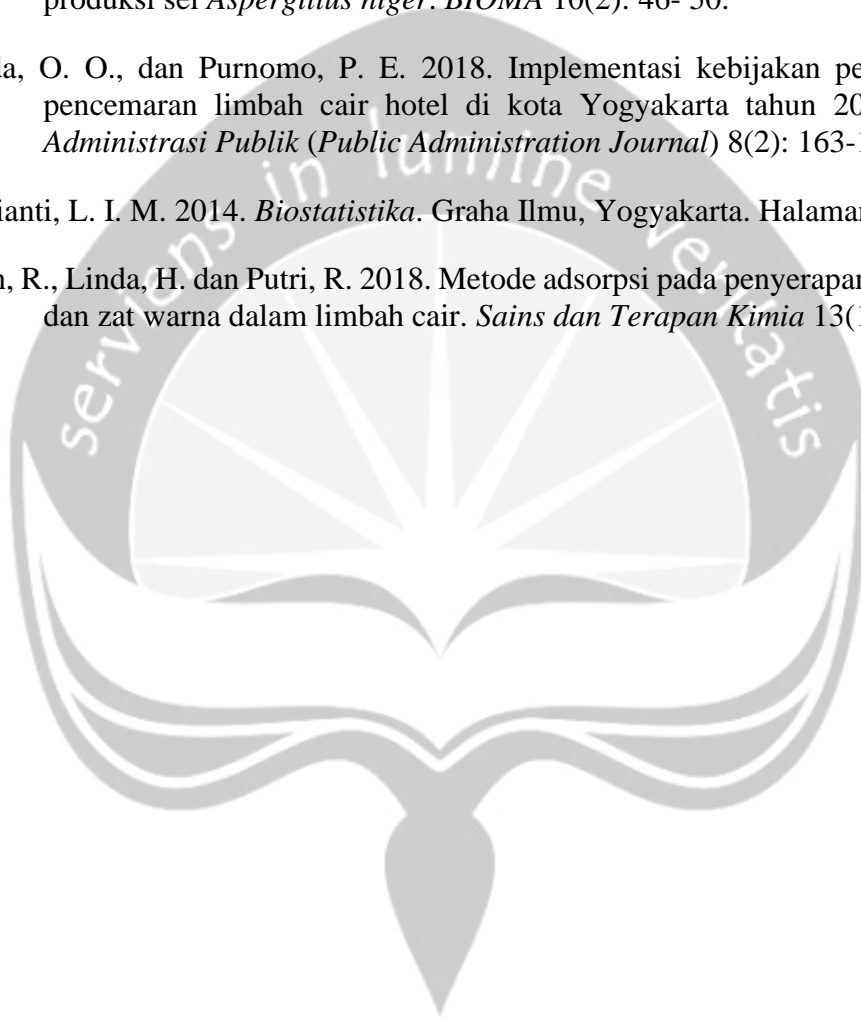
- Juliani, A., dan Rahman, F. 2011. Bioremediasi sedimen minyak (*Oil Sludge*) dengan penambahan kompos sebagai *Bulking Agent* dan sumber nutrient tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* 3(1): 001-018.
- Khoiroh, Z. 2014. Bioremediasi logam berat timbal (Pb) dalam lumpur lapindo menggunakan campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang, Malang.
- Komarawidjaja, W. 2017. Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di desa Jelegong, kecamatan Rancaekek, kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 18 (2): 173- 181.
- Komari, N., Rohman, T. dan Yudistri, A. 2008. Penggunaan biomassa *Aspergillus niger* sebagai biosorben Cr (III). *Sains dan Terapan Kimia* 2 (1): 1- 13.
- Krijgsheld, P., Bleichrodt, R., Veluw, G. J. V., Wang, F., Müller, W. H., Dijksterhuis, J. dan Wösten, H. A. B. 2009. Development in *Aspergillus*. *Studies in Mycology* 74: 1- 29.
- Kurniawan, M dan Ekowati, N. 2016. Review: mikoremediasi logam berat. *Journal Bioteknologi dan Biosains Indonesia* 3 (1): 36- 45.
- Listiowati., Rahayu, W. S. dan Utami, P. I. 2011. Analisis cemaran tembaga dalam air sumur industry pelapisan emas di kota Tegal dengan metode spektrofotometri serapan atom. *Pharmacy* 08 (03): 71- 79.
- Machida, M. dan Gomi, K. 2010. *Aspergillus: Molecular Biology and Genomics*. Caister Academic Press, Norfolk Uk. Halaman 1
- Maulana, A., Supartono dan Mursiti, S. 2017. Bioremediasi logam Pb pada limbah tekstil dengan *Stapylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*. *Indonesia Journal of Chemical Science* 6 (3): 256- 260.
- Mekassa, B. dan Chandravanshi, B. S. 2015. Levels of selected essential and non-essential metals in seeds of korarima (*Aframomum corrorima*) cultivated in Ethiopia. *Brazilian Journal of Food Technology* 18 (2): 102- 111.
- Mohammed, A. A., Mohamed, H. O. dan Muftah, E. K. 2019. Heavy metals contents in some commercially available coffe, tea, and cocoa samples in Misurata city- Libya. *Progress in Chemical and Biochemical Research* 2 (3): 99- 107.
- Mubin, F. 2016. Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik di kelurahan istiqlal lota Manado. *Jurnal Sipil Statik* 4(3): 211- 223.

- Muchtar, H., Kamsina., Anova, I. T. 2011. Pengaruh kondisi penyimpanan terhadap pertumbuhan jamur pada gambir. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* 22(1): 36- 43.
- Mukharomah, E., Munawar. dan Widjajanti, H. 2015. Identifikasi dan sinergisme kapang lipolitik dari limbah SBE (*Spent Bleaching Earth*) sebagai agen bioremediasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 13(1):19-26.
- Mulyani, N. S., Asy'ari, M. dan Prasetyoningsih, H. 2009. Penentuan konsentrasi optimum *Oat Spelts Xylan* pada produksi Xilanase dari *Aspergillus niger* dalam medium PDB (*Potato Dextrose Broth*). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 12(1): 7- 13.
- Nugroho, E. D dan Rahayu, D. A. 2017. *Pengantar Bioteknologi (Aplikasi dan Terapan)* Edisi ke- 1. Deepublish, Yogyakarta. Halaman 323
- Nwankwegu, A. S. 2016. Sawdust assisted bioremediation of PMS hydrocarbon impacted agricultural soil in Niger Delta Nigeria. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 7 (4): 47- 57.
- Nwankwegu, A. S., Onwosi, C. O., Azi, F., Azumini, P dan Anaukwu, C. G. 2017. Use of rice husk as bulking agent in bioremediation of automobile gas oil impinged agricultural soil. *Soil and Sediment Contamination: An Internasional Journal* 26 (1): 1- 49.
- Nwogu, C. G. I dan Elenwo, E. N. 2012. Comparative evaluation of growth media for the cultivation of fungal cultures. *Journal of Plant Pathology and Microbiology* 3(6): 1-4.
- Nyongesa, B. W., Okoth, S. dan Ayugi, V. 2015. Identification jey for *Aspergillus* spesies isolated from Maize and soil of Nandi County, Kenya. *Advances in Microbiology* 5: 205- 229.
- Oktahariani, P. 2016. Bioremediasi limbah *spent bleaching earth (SBE)* menggunakan konsorsium bakteri lipolitik indigen dengan penambahan nutrien dan *bulking agent*. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya Palembang, Palembang.
- Park, J. H., Lamd, D., Paneerselvan, P., Choppala, G., Bolan, N. dan Chung, J. W. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 185(2): 540-574.
- Permata, M. A. D., Purwiyanto, A. I. S. dan Diansyah, G. 2018. Kandungan logam berat Cu (Tembaga) dan Pb (Timbal) pada air dan sedimen di Kawasan industry Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Jurnal of Trapocal Marine Science* 1 (1): 7- 14.

- Pohan, D. A. S., Budiyono. dan Syafrudin. 2016. Analisis kualitas air ungai gunamenentukan peruntukan ditinjau dari aspek lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 14(2): 63-71.
- Primadipta, I. W dan Titah, H. S. 2017. Bioremediasi lumpur alum menggunakan *Aspergillus niger* dengan penambahan serbuk gergaji sebagai *Bulking Agent*. *Jurnal Teknik ITS* 6 (1): 95- 99.
- Purkan., Purnama. dan Sumarsih. 2015. Produksi enzim selulase dari *Aspergillus niger* menggunakan sekam padi dan ampas tebu sebagai induser. *Jurnal Ilmu Dasar* 16(2): 95- 102.
- Putra, D. E., Astuti, F. P. dan Suharyadi, E. 2014. Studi penurunan kadar logam besi (Fe) pada limbah batik dengan sistem purifikasi menggunakan absorbent nanopartikel *magnetic* (Fe_3O_4). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta*.
- Rahmiasari, P. 2006. Pemanfaatan Lumpur (*Sludge*) dari *sludge dring bed* pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik Sewon, Bantul, Jogjakarta, serbuk gergaji kayu sengon dan kotoran sapi untuk kompos. *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Yogyakarta.
- Retno, T dan Mulyana, N. 2013. Bioremediasi lahan tercemar limbah sedimen minyak menggunakan campuran *bulking agents* yang diperkaya konsorsia mikroba berbasis kompos iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* 9 (2): 139- 150.
- Rosmarkam, A. dan Yuwono, N. W. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta. Halaman 147
- Said, N. I. 2005. Metoda penghilang zat besi dan mangan di dalam penyediaan air minum domestik. *JAI* 1(3): 239- 250.
- Sari, A. R., Kusdiyantini, E. dan Rukmi, I. 2017. Produksi selulase oleh kapang *Aspergillus* sp. Hasil isolasi dari limbah pengolahan sagu (*Metroxylon* sp.) dengan variasi konsentrasi inokulum pada fermentasi terendam statis. *Jurnal Biologi* 6(1): 11- 20.
- Sathya, R., dan Sankar, P. 2010. Bioremediation of chromium by using *Aspergillus niger* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Cauvery Research Journal* 3(1): 58-61.
- Sembel, D. T. 2015. *Toksikologi Lingkungan: Dampak Pencemaran dari Berbagai Bahan Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari*. CV Andi Offset, Yogyakarta. Halaman 91-92
- Sharma, S. 2012. Bioremediation: features, strategies and applications. *Asian Journal of Pharmacy and Life Science* 2(2): 202- 213.

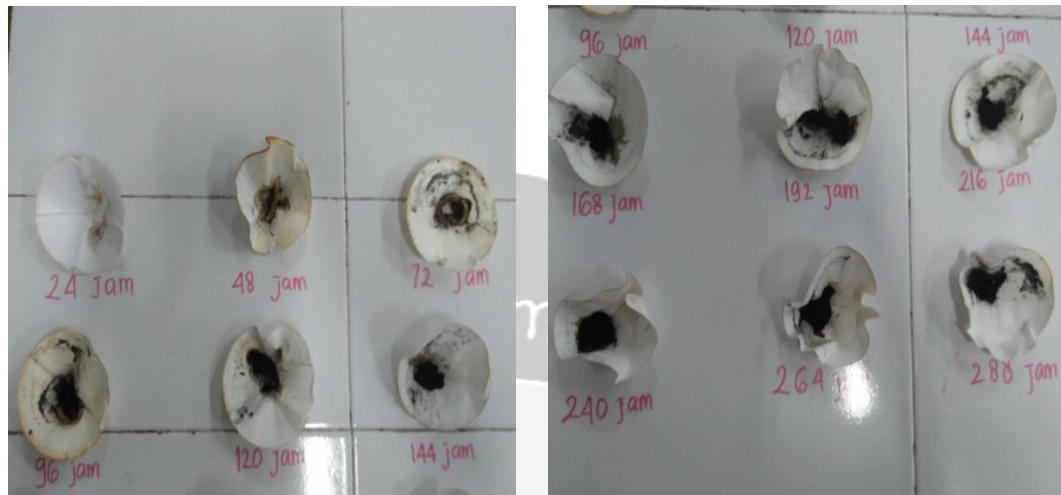
- Siddiquee, S., Rovina, K., Azad, S. A., Naher, L., Suryani, S. dan Chaikaew, P. 2015. Heavy metal contaminants removal from wastewater using the potential filamentous fungi biomass: A Review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology* 7(6): 384- 393.
- Siregar, S. A. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta. Halaman 76.
- Situmorang, C. 2016. Analisis perbedaan saringan pasir aktif dan arang aktif untuk menurunkan kadar Fe dalam air. *Jurnal Ilmiah Satya Negara Indonesia* 9(1): 1- 9.
- Sunarsih, E. 2014. Konsep pengolahan limbah rumah tangga dalam upaya pencegahan pencemaran lingkungan. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat* 5 (3): 162- 167.
- Suoth, A. E., dan Nazir, E. 2016. Karakteristik air limbah rumah tangga (*grey water*) pada salah satu perumahan menengah keatas yang berada di Tangerang Selatan. *Ecolab* 10(2): 47-102.
- Suryandari, M. 2018. Rangkaian aerasi, filtrasi dan *ion exchange* dalam menurunkan Fe air sumur gali. *Karya Tulis Ilmiah*. Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Yogyakarta, Yogyakarta.
- Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A. dan Irawan, B. 2018. Kandungan logam non esensial (Pb, Cd dan Hg) dan logam esensial (Cu, Cr dan Zn) pada sedimen di perairan Tuban Gresik dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan* 11 (1): 69- 74.
- Tih, F., Puspasari, G., Kusumawardani, I., Estevania, M. Y. dan Simanjuntak, A. S. 2015. Kandungan logam timbal, besi, dan tembaga dalam air minum isi ulang di kota Bandung. *Zenit* 4 (3): 215- 219.
- Triyono, A. 2015. Kajian immobilisasi logam berat pada lumpur IPAL Sewon dan potensi pemanfaatannya sebagai material bangunan. *Tesis*. Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Yogyakarta.
- Waluyo, L. 2018. *Bioremediasi Limbah*. Universitas Muhammadiyah Malang, Malang. Halaman 15
- Wang, L. K., Chen, J. P., Hung, Y. dan Shammass, N. K. 2009. *Heavy Metals in The Environment*. CRC Press, Florida. Halaman 1
- Widiarti, I. W. 2010. Pengaruh variasi bobot *bulking agent* terhadap waktu pengomposan sampah organik rumah makan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* 2 (1): 43- 54.

- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S. dan Kuswanto. 2015. Populasi air tanah akibat limbah industry dan limbah rumah tangga. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 10(2): 246-254.
- Wijayanti, N. 2017. *Fisiologi Manusia dan Metabolisme Zat Gizi*. UB Press, Malang. Halaman 179
- Wuryanti. 2008. Pengaruh penambahan biotin pada media pertumbuhan terhadap produksi sel *Aspergillus niger*. *BIOMA* 10(2): 46- 50.
- Yuda, O. O., dan Purnomo, P. E. 2018. Implementasi kebijakan pengendalian pencemaran limbah cair hotel di kota Yogyakarta tahun 2017. *Jurnal Administrasi Publik (Public Administration Journal)* 8(2): 163-171.
- Yulianti, L. I. M. 2014. *Biostatistika*. Graha Ilmu, Yogyakarta. Halaman 55-69.
- Zein, R., Linda, H. dan Putri, R. 2018. Metode adsorpsi pada penyerapan ion logam dan zat warna dalam limbah cair. *Sains dan Terapan Kimia* 13(1): 39-58.



LAMPIRAN 1

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian



Gambar 8. Berat kering *Aspergillus niger* dari 24 jam hingga 288 jam dalam pembuatan kurva pertumbuhan.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. (a) Sedimen IPAL ditambah sekam padi, (b) Sedimen IPAL ditambah serbuk gergaji, (c) Sedimen IPAL tidak ditambah *bulking agent* dan (d) Perlakuan inkubasi selama 5 hari.



(e)



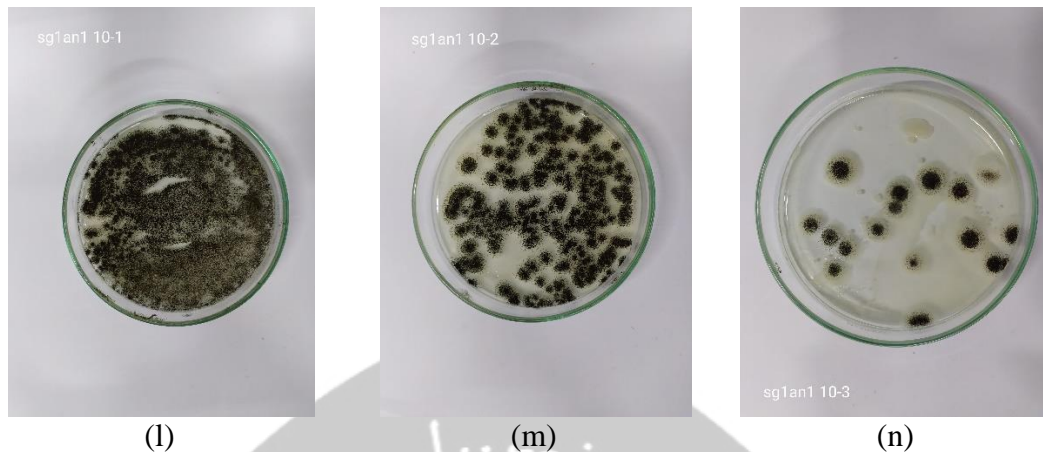
(f)



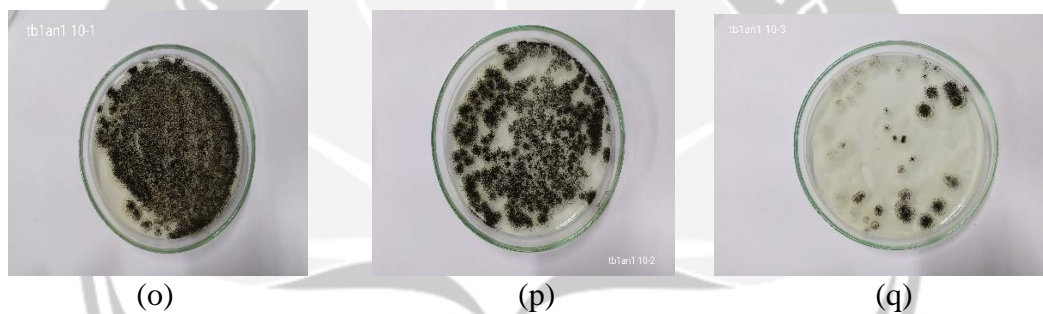
(g) (h)
 Gambar 9. (e) Sampel sedimen IPAL kering yang ditambah sekam padi, (f) Sampel sedimen IPAL kering yang ditambah serbuk gergaji, (g) Sampel sedimen IPAL kering tanpa *bulking agent*, dan (h) Kultur *Aspergillus niger* dalam medium PDB.



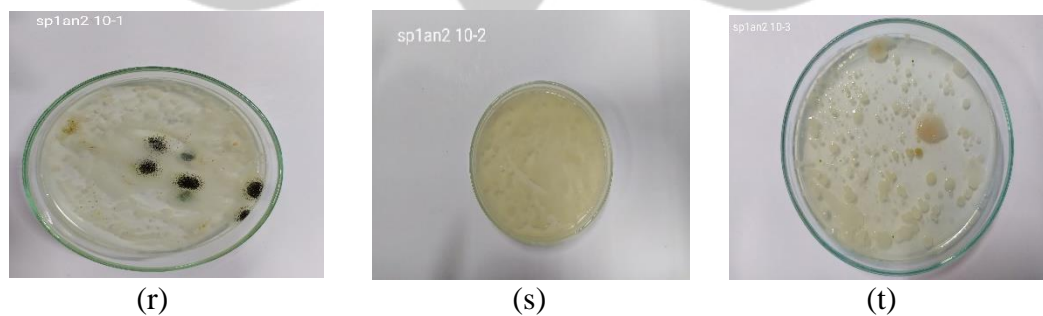
(i) (j) (k)
 Gambar 10. Koloni *Aspergillus niger* 15% pada sampel sedimen IPAL dengan sekam padi (i) pengenceran 10^{-1} (j) pengenceran 10^{-2} dan (k) pengenceran 10^{-3} .



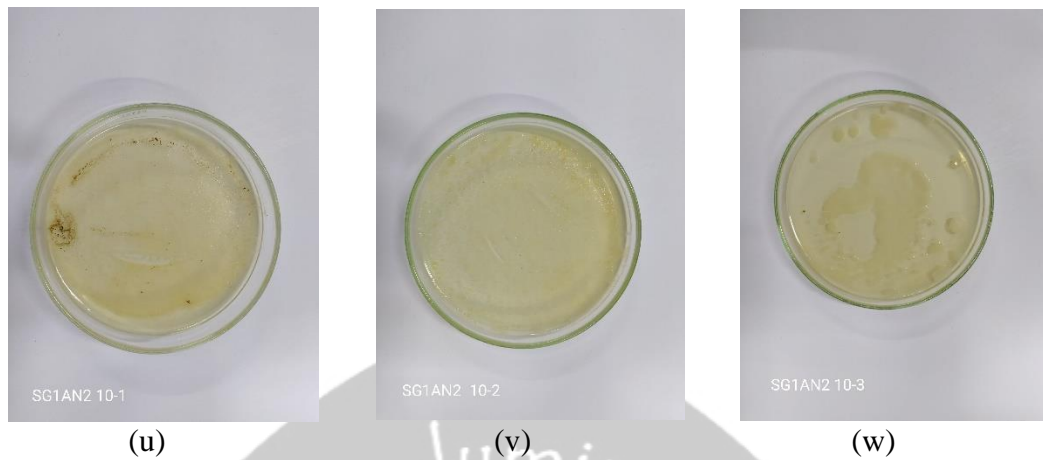
(l) (m) (n)
 Gambar 11. Koloni *Aspergillus niger* 15% pada sampel sedimen IPAL dengan penambahan serbuk gergaji (l) Pengenceran 10^{-1} , (m) Pengenceran 10^{-2} dan (n) Pengenceran 10^{-3} .



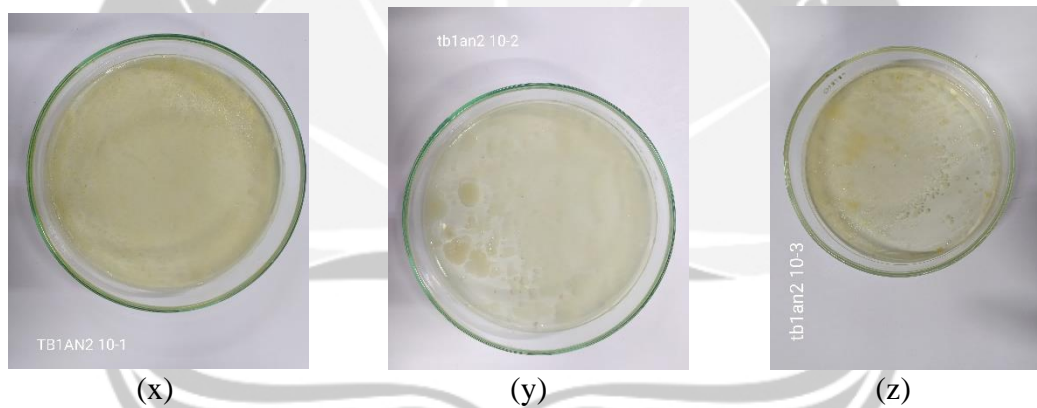
(o) (p) (q)
 Gambar 12. Koloni *Aspergillus niger* 15% pada sampel sedimen IPAL tanpa penambahan *bulking agent* (o) Pengenceran 10^{-1} , (p) Pengenceran 10^{-2} dan (q) Pengenceran 10^{-3} .



(r) (s) (t)
 Gambar 13. Koloni *Aspergillus niger* 20% pada sampel sedimen IPAL penambahan sekam padi (r) Pengenceran 10^{-1} , (s) Pengenceran 10^{-2} dan (t) Pengenceran 10^{-3} .



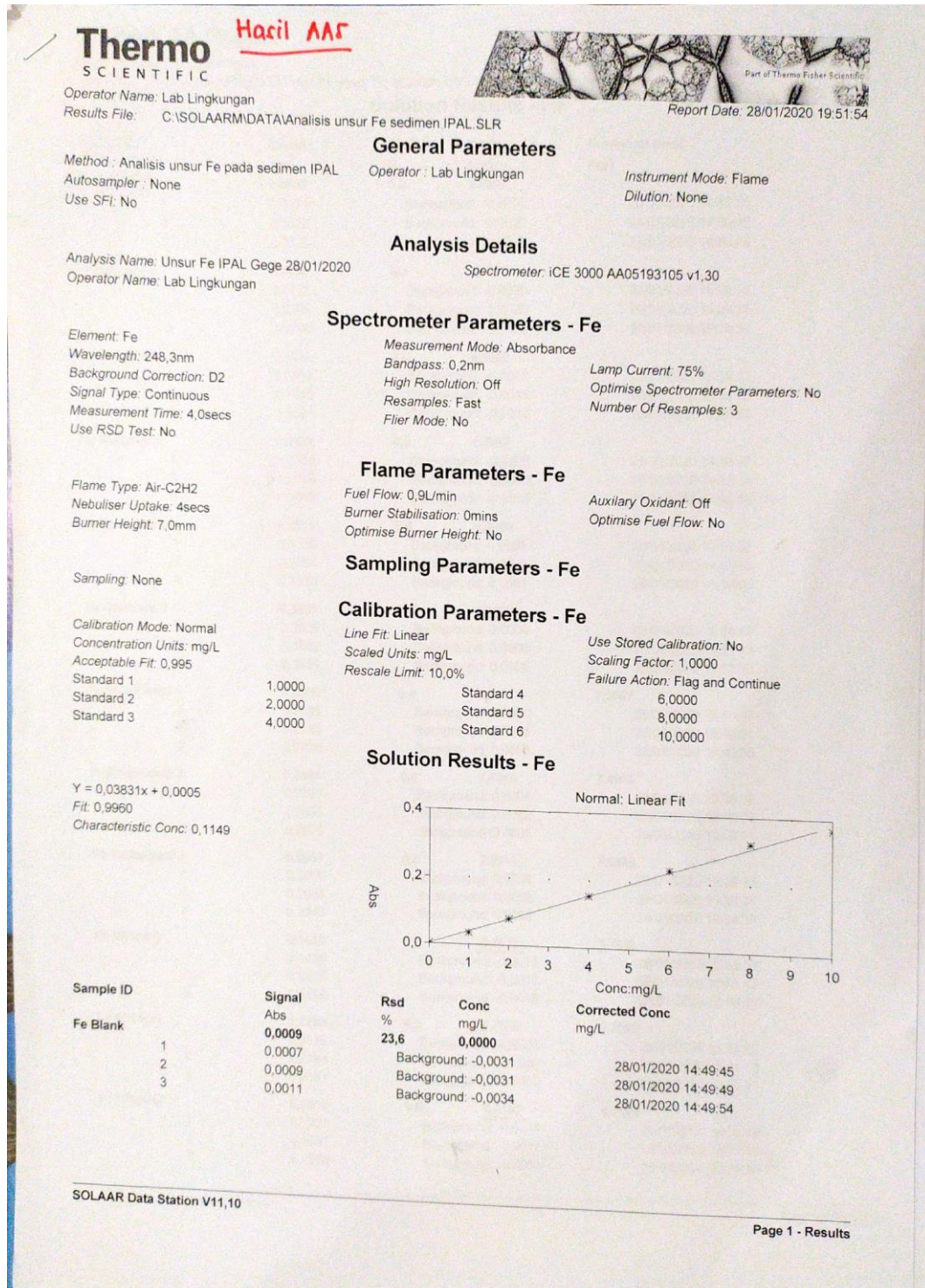
Gambar 14. Koloni *Aspergillus niger* 20% pada sampel sedimen IPAL penambahan serbuk gergaji (u) Pengenceran 10⁻¹, (v) Pengenceran 10⁻² dan (w) Pengenceran 10⁻³.



Gambar 15. Koloni *Aspergillus niger* 20% pada sampel sedimen IPAL tanpa *bulking agent* (x) Pengenceran 10⁻¹, (y) Pengenceran 10⁻² dan (z) Pengenceran 10⁻³.

LAMPIRAN 2

Lampiran 2. Hasil Uji Logam Fe dengan AAS



SOLAAR AA Report

Operator Name: Lab Lingkungan

Results File: C:\SOLAAR\MIDATA\Analisis unsur Fe sedimen IPAL.SLR

Report Date: 28/01/2020 19:51:54

Solution Results - Fe

Sample ID	Signal	Rsd	Conc	Corrected Conc
	Abs	%	mg/L	mg/L
Fe Standard 1	0,0328	0,8	1,0000	
1	0,0331	Background: -0,0026		28/01/2020 14:50:35
2	0,0328	Background: -0,0029		28/01/2020 14:50:40
3	0,0325	Background: -0,0028		28/01/2020 14:50:44
Fe Standard 2	0,0769	0,4	2,0000	
1	0,0773	Background: -0,0020		28/01/2020 15:29:18
2	0,0768	Background: -0,0020		28/01/2020 15:29:22
3	0,0766	Background: -0,0020		28/01/2020 15:29:26
Fe Standard 3	0,1531	0,6	4,0000	
1	0,1533	Background: -0,0017		28/01/2020 15:36:49
2	0,1539	Background: -0,0015		28/01/2020 15:36:53
3	0,1521	Background: -0,0015		28/01/2020 15:36:58
Fe Standard 4	0,2371	0,3	6,0000	
1	0,2380	Background: -0,0006		28/01/2020 14:53:10
2	0,2369	Background: -0,0006		28/01/2020 14:53:14
3	0,2365	Background: -0,0005		28/01/2020 14:53:18
Fe Standard 5	0,3211	0,6	8,0000	
1	0,3230	Background: 0,0001		28/01/2020 14:53:52
2	0,3194	Background: 0,0003		28/01/2020 14:53:56
3	0,3210	Background: 0,0001		28/01/2020 14:54:00
Fe Standard 6	0,3691	0,1	10,0000	
1	0,3685	Background: 0,0008		28/01/2020 14:54:41
2	0,3692	Background: 0,0006		28/01/2020 14:54:46
3	0,3695	Background: 0,0005		28/01/2020 14:54:50
Fe Kadar awal 1	0,2826	0,4	7,3637	7,3637
1	0,2835	Background: 0,0006		28/01/2020 19:40:47
2	0,2815	Background: 0,0005		28/01/2020 19:40:51
3	0,2828	Background: 0,0005		28/01/2020 19:40:56
Fe Kadar awal 2	0,2841	0,4	7,4018	7,4018
1	0,2853	Background: 0,0004		28/01/2020 19:36:02
2	0,2835	Background: 0,0002		28/01/2020 19:36:06
3	0,2833	Background: 0,0005		28/01/2020 19:36:11
Fe Kadar awal 3	0,2953	0,3	7,6946	7,6946
1	0,2960	Background: 0,0002		28/01/2020 19:28:30
2	0,2955	Background: 0,0002		28/01/2020 19:28:34
3	0,2943	Background: 0,0002		28/01/2020 19:28:39
Fe SP1AN1	0,1443	0,7	3,7538	3,7538
1	0,1455	Background: -0,0016		28/01/2020 17:58:38
2	0,1438	Background: -0,0013		28/01/2020 17:58:42
3	0,1436	Background: -0,0015		28/01/2020 17:58:46
Fe SP2AN1	0,2189	0,2	5,7018	5,7018
1	0,2192	Background: -0,0000		28/01/2020 18:01:09
2	0,2184	Background: -0,0002		28/01/2020 18:01:13
3	0,2191	Background: -0,0000		28/01/2020 18:01:17
Fe SP3AN1	0,1543	0,8	4,0152	4,0152
1	0,1557	Background: -0,0011		28/01/2020 18:02:49
2	0,1537	Background: -0,0011		28/01/2020 18:02:53
3	0,1536	Background: -0,0012		28/01/2020 18:02:58

SOLAAR AA Report

Operator Name: Lab Lingkungan

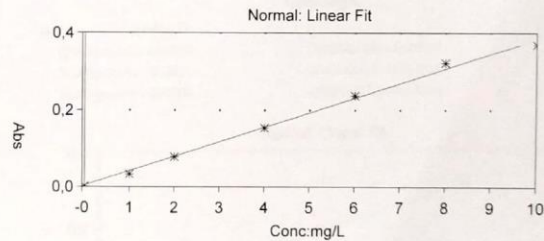
Results File: C:\SOLAAR\MIDATA\Analisis unsur Fe sedimen IPAL SLR

Report Date: 28/01/2020 19:51:54

Solution Results - Fe

Sample ID	Signal	Rsd	Conc	Corrected Conc
	Abs	%	mg/L	mg/L
Fe K1AN2	0,2524	0,2	6,5756	6,5756
	0,2530	Background: 0,0003		28/01/2020 18:54:54
	0,2519	Background: 0,0003		28/01/2020 18:54:58
	0,2524	Background: 0,0006		28/01/2020 18:55:02
Fe K2AN2	0,2323	0,2	6,0507	6,0507
	0,2318	Background: -0,0000		28/01/2020 18:56:43
	0,2323	Background: -0,0000		28/01/2020 18:56:47
	0,2328	Background: 0,0001		28/01/2020 18:56:51
Fe K3AN2	0,2171	0,4	5,6550	5,6550
	0,2176	Background: -0,0002		28/01/2020 18:58:18
	0,2175	Background: -0,0001		28/01/2020 18:58:22
	0,2162	Background: -0,0001		28/01/2020 18:58:26
Fe Kontrol 1	0,2734	0,4	7,1244	7,1244
	0,2748	Background: 0,0005		28/01/2020 19:00:04
	0,2731	Background: 0,0005		28/01/2020 19:00:08
	0,2724	Background: 0,0008		28/01/2020 19:00:13
Fe Kontrol 2	0,2794	0,4	7,2813	7,2813
	0,2803	Background: 0,0002		28/01/2020 19:45:43
	0,2799	Background: 0,0002		28/01/2020 19:45:48
	0,2781	Background: 0,0003		28/01/2020 19:45:52
Fe Kontrol 3	0,2731	0,4	7,1155	7,1155
	0,2740	Background: 0,0003		28/01/2020 19:48:04
	0,2718	Background: 0,0004		28/01/2020 19:48:08
	0,2734	Background: 0,0003		28/01/2020 19:48:13

Y = 0,03797x + 0,0032
 Fit: 0,9956
 Characteristic Conc: 0,1159



Fe Standard 1	0,0326	1,0	1,0000	
—1	0,0326	Background: -0,0025		28/01/2020-15-13-47
—2	0,0326	Background: -0,0028		28/01/2020-15-13-51
—3	0,0322	Background: -0,0026		28/01/2020-15-13-55

LAMPIRAN 3

Lampiran 3. Hasil SPSS

Tabel 6. Hasil uji Dunnett pengaruh variasi *Aspergillus niger* 15 dan 20% dengan kontrol terhadap penurunan kadar Fe

Beberapa Perbandingan

Variabel Dependen: hasil
Dunnnett t (2-sisi)^a

(I) A.niger	(J) A.niger	Rata-rata Pembeda (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Interval Kepercayaan	
					Batas Bawah	Batas Atas
a.niger 15%	kontrol	-2,10351*	,61605	,005	-3,5465	-,6605
a.niger 20%	kontrol	-1,23057	,61605	,096	-2,6736	,2124

* Perbedaan rata-rata signifikan pada tingkat .05

a.Uji t Dunnett memperlakukan satu kelompok sebagai kontrol, dan membandingkan semua kelompok lain yang menentangnya.

Tabel 7. Hasil uji Dunnett pengaruh variasi *bulking agent* dengan kontrol terhadap penurunan kadar Fe

Beberapa Perbandingan

Variabel Dependen: hasil
Dunnnett t (2-sisi)^a

(I) BulkingAgent	(J)BulkingAgent	Rata-rata Pembeda (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Interval Kepercayaan	
					Batas Bawah	Batas Atas
Sekam padi	kontrol	-2,18983*	,69040	,013	-3,9321	-,4476
Serbuk Gergaji	kontrol	-1,51113	,69040	,094	-3,2534	,2311
Tanpa bulking agent	kontrol	-1,30015	,69040	,162	-3,0424	,4421

* Perbedaan rata-rata signifikan pada tingkat .05

a.Uji t Dunnett memperlakukan satu kelompok sebagai kontrol, dan membandingkan semua kelompok lain yang menentangnya.

Tabel 8. Hasil uji Duncan (DMRT) kadar penurunan kadar Fe berdasarkan perlakuan.

Hasil

Duncan^a

Perlakuan	N	Subset (bagian) dengan tingkat kepercayaan = .05		
		1	2	3
SPAN1	3	5.6129		
SGAN1	3		7.2613	
TBAN2	3		7.6172	7.6172
SGAN2	3		7.6508	7.6508
TBAN1	3		7.7168	7.7168
SPAN2	3		7.9418	7.9418
KONTROL	3			8.9618
Sig		1.000	.328	.064

Nilai rata-rata yang sam ditampilkan pada subset yang sama

a. Menggunakan ukuran sampel rata-rata *harmonic* = 3.000.

Tes di antara efek dari subyek

Dependent Variable: hasil

Sumber	Tipe II jumlah kuadrat	Df	Kuadrat	F	Sig.
Model dikoreksi	6,803 ^a	3	2,268	2,652	,089
Intersep	959,254	1	959,254	1122,001	,000
A.niger	4,210	1	4,210	4,924	,044
B.Agent	1,963	2	,982	1,148	,345
Error	11,969	14	,855		
Total	978,026	18			
Total dikoreksi	18,772	17			

a. R kuadrat = ,362 (d disesuaikan R Kuadrat = ,226)

hasil

Duncan ^{a,b}

B.Agent	N	Bagian
		1
sekam padi	6	6,7773
serbuk gergaji	6	7,4560
tanpa bulking agent	6	7,6670
Sig.		,135

Kelompok-kelompok dalam himpunan bagoan yang homogen ditampilkan.

Berdasarkan penjumlahan tipe II

Istilah kesalahan adalah kuadrat rata-rata (error) = ,855

a. Menggunakan ukuran sampel rata-rata harmonik = 6,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 9. Hasil uji Duncan (DMRT) persentase penurunan kadar Fe berdasarkan perlakuan.

Hasil

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Bagian	
		1	2
SPAN2	3	15.1370	
TBAN1	3	17.5417	
SGAN2	3	18.2470	
TBAN2	3	18.6054	
SGAN1	3	22.4086	
SPAN1	3		40.0233
Sig.		.363	1.000

Kelompok-kelompok dalam himpunan bagoan yang homogen ditampilkan.

Berdasarkan penjumlahan tipe II

Istilah kesalahan adalah kuadrat rata-rata (error) = 74.223.

a. Menggunakan ukuran sampel rata-rata harmonik = 3.000.

b. Aplha = ,05.

Tes di antara efek dari subyek

Dependent Variable: hasil

Sumber	Tipe II jumlah kuadrat	Df	Kuadrat	F	Sig.
Model dikoreksi	687,670 ^a	3	229,223	2,204	,133
Intersep	8707,117	1	8707,117	83,735	,000
Bulkingagent	296,109	2	148,054	1,424	,274
A.niger	391,561	1	391,561	3,766	,073
Error	1455,782	14	103,984		
Total	10850,568	18			
Total dikoreksi	2143,452	17			

a. R kuadrat = ,362 (d disesuaikan R Kuadrat = ,175)

Hasil

Duncan^{a,b}

Bulkingagent	N	Bagian
		1
Tanpa bulking agent	6	18,0736
Serbuk gergaji	6	20,3278
Sekam padi	6	27,5802
Sig.		,147

Kelompok-kelompok dalam himpunan bagoan yang homogen ditampilkan.

Berdasarkan penjumlahan tipe II

Istilah kesalahan adalah kuadrat rata-rata (error) = 103,984.

a. Menggunakan ukuran sampel rata-rata harmonik = 6.000.

b. Aplha = ,05.

LAMPIRAN 4.

Lampiran 4. Perhitungan

A. Perhitungan berat kering *Aspergillus niger* menggunakan Rumus: $\sum w = W1 -$

$W2$

- | | |
|--|---|
| 1. 24 jam
=0,90-0,79
=0,11 gram | 8. 192 jam
=1,20-0,78
=0,42 gram |
| 2. 48 jam
=1,05-0,78
=0,27 gram | 9. 216 jam
=1,19-0,78
=0,41 gram |
| 3. 72 jam
=1,21-0,78
=0,43 gram | 10. 240 jam
=1,17-0,76
=0,41 gram |
| 4. 96 jam
=1,25-0,78
=0,47 gram | 11. 264 jam
=1,19-0,79
=0,40 gram |
| 5. 120 jam
=1,23-0,78
=0,45 gram | 12. 288 jam
=1,18-0,79
=0,39 gram |
| 6. 144 jam
=1,22-0,78
=0,44 gram | |
| 7. 168 jam
=1,22-0,79
=0,43 gram | |

B. Perhitungan AKK Menggunakan Rumus: $AKK = \frac{\sum C}{((1x1)+(0,1x2)x d)}$

Hari pertama.

SP1AN1

$$\begin{aligned} AKK &= \frac{39}{((1x1)x 10^{-2})} \\ &= 390x10^2 \\ &= 39000 \end{aligned}$$

SG1AN1

$$\begin{aligned} AKK &= \frac{112+16}{((1x1)+(0,1x1) 10^{-2})} \\ &= 115,45x10^2 \\ &= 11545 \end{aligned}$$

TB1AN1

$$\begin{aligned} AKK &= \frac{41}{((1x1)x10^{-3})} \\ &= 41x10^3 \\ &= 41000 \end{aligned}$$

SP1AN2

$$AKK = 0$$

SG1AN2

$$AKK = 0$$

TB1AN2

$$AKK = 0$$

Hari ketiga.

SP1AN1

$$\begin{aligned} AKK &= \frac{39}{((1x1)x 10^{-2})} \\ &= 390x10^2 \\ &= 39000 \end{aligned}$$

SG1AN1

$$\begin{aligned} AKK &= \frac{43}{((1x1)x10^{-3})} \\ &= 43x10^3 \\ &= 43000 \end{aligned}$$

TB1AN1

$$\begin{aligned} AKK &= \frac{31}{((1x1)x10^{-3})} \\ &= 31x10^3 \\ &= 31000 \end{aligned}$$

SP1AN2

$$AKK = 0$$

SG1AN2

$$AKK = 0$$

TB1AN2

$$AKK = 0$$

Hari kelima.

SP1AN1

$$\begin{aligned} \text{AKK} &= \frac{25}{((1x1)x 10^{-3})} \\ &= 25x10^3 \\ &= 25000 \end{aligned}$$

SG1AN1

$$\begin{aligned} \text{AKK} &= \frac{90}{((1x1)x 10^{-3})} \\ &= 90x10^3 \\ &= 90000 \end{aligned}$$

TB1AN1

$$\begin{aligned} \text{AKK} &= \frac{68}{((1x1)x 10^{-3})} \\ &= 68x10^3 \\ &= 68000 \end{aligned}$$

SP1AN2

$$\begin{aligned} \text{AKK} &= \frac{19}{((1x1)x 10^{-1})} \\ &= 19x10^1 \\ &= 190 \end{aligned}$$

SG1AN2

$$\begin{aligned} \text{AKK} &= \frac{34}{((1x1)x 10^{-1})} \\ &= 34x10^1 \\ &= 340 \end{aligned}$$

TB1AN2

$$\begin{aligned} \text{AKK} &= \frac{21}{((1x1)x 10^{-1})} \\ &= 21x10^1 \\ &= 210 \end{aligned}$$

A. Perhitungan Kadar Akhir Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Rumus:

$$\text{Kandungan logam (mg/L)} = \frac{(\text{konsentrasi akhir}) \times V}{m}$$

1. Kadar awal

a. Ulangan pertama

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(7,3637 \times 0,05)}{4} \\ &= 9,2046 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

b. Ulangan kedua

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(7,4018 \times 0,05)}{4} \\ &= 9,2523 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

c. Ulangan ketiga

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(7,6946 \times 0,05)}{4} \\ &= 9,6183 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2. Kontrol

a. Ulangan pertama

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(7,1244 \times 0,05)}{4} \\ &= 8,9055 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

b. Ulangan kedua

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(7,2813 \times 0,05)}{4} \\ &= 9,1016 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

c. Ulangan ketiga

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(7,1155 \times 0,05)}{4} \\ &= 8,8944 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

3. SP1AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(3,7538 \times 0,05)}{4} \\ &= 4,6923 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

4. SP2AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,7018 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,1273 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

5. SP3AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(4,0152 \times 0,05)}{4} \\ &= 5,0190 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

6. SG1AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,2492 \times 0,05)}{4} \\ &= 6,5615 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

7. SG2AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,8534 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,3168 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

8. SG31AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,3245 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,9056 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

9. TB1AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,8466 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,3083 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

10. TB2AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,2658 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,8323 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

11. TB3AN1

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,4078 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,8323 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

12. SP1AN2

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,5964 \times 0,05)}{4} \\ &= 8,2455 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

13. SP2AN2

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,6921 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,1151 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

14. SP3AN2

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,7718 \times 0,05)}{4} \\ &= 8,4648 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

15. SG1AN2

$$\begin{aligned}\text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,6215 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,0269 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

16. SG2AN2

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,8866 \times 0,05)}{4} \\ &= 8,6083 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

17. SG3AN2

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,8537 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,3171 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

18. TB1AN2

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,5756 \times 0,05)}{4} \\ &= 8,2195 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

19. TB2AN2

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(6,0507 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,5634 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

20. TB3AN2

$$\begin{aligned} \text{Kandungan logam (mg/L)} &= \frac{(5,6550 \times 0,05)}{4} \\ &= 7,0688 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Persentase Penurunan Kadar Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan

$$\text{Rumus: \% penurunan} = \frac{\text{awal} - \text{akhir}}{\text{awal}} \times 100\%$$

1. Kontrol ulangan pertama

$$= \frac{9,3584 - 8,9055}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 4,8392\%$$

2. Kontrol ulangan kedua

$$= \frac{9,3584 - 9,2523}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 4,9581\%$$

3. Kontrol ulangan ketiga

$$= \frac{9,3584 - 8,8944}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 4,9581\%$$

4. SP1AN1

$$= \frac{9,3584 - 4,6923}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 49,8303\%$$

5. SP2AN1

$$= \frac{9,3584 - 7,1273}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 23,8409\%$$

6. SP3AN1

$$= \frac{9,3584 - 5,0190}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 46,3688\%$$

7. SG1AN1

$$= \frac{9,3584 - 6,5615}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 29,8863\%$$

8. SG2AN1

$$= \frac{9,3584 - 7,3168}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 21,8160\%$$

9.SG3AN1

$$= \frac{9,3584 - 7,9056}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 15,5235\%$$

10. TB1AN1

$$= \frac{9,3584 - 7,3083}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 21,9068\%$$

11.TB2AN1

$$= \frac{9,3584 - 7,8323}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 16,3075\%$$

12.TB3AN1

$$= \frac{9,3584 - 8,0098}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 14,4109\%$$

13. SP1AN2

$$= \frac{9,3584 - 8,2455}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 11,8917\%$$

14.SP2AN2

$$= \frac{9,3584 - 7,1151}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 23,9704\%$$

15. SP3AN2

$$= \frac{9,3584 - 8,4648}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 9,5489\%$$

16. SG1AN2

$$= \frac{9,3584 - 7,0269}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 24,9134\%$$

17. SG2AN2

$$= \frac{9,3584 - 8,6083}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 8,0155\%$$

18. SG3AN2

$$= \frac{9,3584 - 7,3171}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 21,8120\%$$

19. TB1AN2

$$= \frac{9,3584 - 8,2195}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 12,1695\%$$

20. TB2AN2

$$= \frac{9,3584 - 7,5634}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 19,1806\%$$

21. TB3AN2

$$= \frac{9,3584 - 7,0688}{9,3584} \times 100\%$$

$$= 24,4660\%$$

