



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS BIOLOGI

Jl. Dr. Soeparno 63 Purwokerto 53122 Telp. (0281) 638794 Faks. (0281) 631700
Email: biologi@unsoed.ac.id / Website: <http://bio.unsoed.ac.id>

Perbaikan 1
10 Mei 2017

KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
NOMOR 309/UN23.02/PP.07.02/2016

TENTANG
TIM DOSEN PEMBIMBING DISERTASI MAHASISWA PROGRAM STUDI S3 BIOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2015/2016

- Menimbang** : a. bahwa untuk kelancaran pelaksanaan penyusunan Disertasi Mahasiswa Program Studi S3 Biologi Universitas Jenderal Soedirman Semester Genap Tahun Akademik 2015/2016 perlu mengangkat Tim Dosen Pembimbing Disertasi;
- b. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud pada huruf a, perlu ditetapkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman tentang Tim Dosen Pembimbing Disertasi Mahasiswa Program Studi S3 Biologi Universitas Jenderal Soedirman Semester Genap Tahun Akademik 2015/2016;
- Mengingat** : 1. Undang-Undang RI. No. 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Lembaran Negara RI Nomor 78, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4301);
2. Undang-Undang RI. No. 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara RI Nomor 158, Tambahan Lembaran Negara Nomor 5336);
3. Peraturan Pemerintah RI. No 17 Tahun 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan (Lembaran Negara Nomor 23 & TLN Nomor 5105) sebagaimana telah diubah dengan PP RI Nomor 66 Tahun 2010 (LN No. 112 & TLN No. 5157);
4. Keputusan Presiden RI Nomor 195 Tahun 1963. jo. Kept. Ment. PTIP No. 153 Tahun 1963 tentang Pendirian Universitas Jenderal Soedirman;
5. Permenristekdikti RI Nomor 20 Tahun 2015 tentang Tata Naskah Dinas di Lingkungan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan tinggi;
6. Permenristekdikti RI. Nomor 23 Tahun 2017 tentang Perubahan Peraturan Menristekdikti RI. Nomor 10 tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Jenderal Soedirman;
7. Keputusan Rektor Universitas Jenderal Soedirman No. Kept. 455/UN23/KP.02.02/2013 tentang Pengangkatan Dekan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman;

MEMUTUSKAN

- Menetapkan** : **KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN TENTANG TIM DOSEN PEMBIMBING DISERTASI MAHASISWA PROGRAM STUDI S3 BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2015/2016**
- KESATU** : Saudara yang namanya tercantum pada daftar di bawah ini diangkat sebagai Tim Dosen Pembimbing Disertasi Mahasiswa Program Studi S3 Biologi Universitas Jenderal Soedirman Semester Genap Tahun Akademik 2015/2016 atas nama: **Andri Kurniawan NIM: B3A015001** dengan judul Disertasi: **Penanganan Cemaran Logam Berat di Danau Pasca Tambang Timah Menggunakan Mikroorganisme**

No	Nama Dosen	NIP	Pangkat / Gol	Keterangan
1.	Dr. Oedjijono, M.Sc.	19590617 198603 1 002	Pembina (Gol IV/a)	Promotor
2.	Dr. Ir. Tamad, M.Si	19651027 199003 1 002	Pembina Tk 1 (Gol IV/b)	Co Promotor 1
3.	Dr. Uyi Sulaiman, S.Si. M.Si.	19730705 200003 1 001	Penata (Gol III/c)	Co Promotor 2

- KEDUA** : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Tim Dosen Pembimbing Disertasi bertanggung jawab kepada Dekan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.
- KETIGA** : Semua biaya yang timbul akibat diterbitkannya Surat Keputusan ini dibebankan kepada anggaran DIPA Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.
- KEEMPAT** : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS BIOLOGI

Jl. Dr. Soeparno 63 Purwokerto 53122 Telp. (0281) 638794 Faks. (0281) 631700
Email: biologi@unsoed.ac.id / Website: <http://bio.unsoed.ac.id>

KEPUTUSAN DEKAN
FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
NOMOR 483/UN23.02/PK.04.01/2019

TENTANG

MAHASISWA PROGRAM STUDI BIOLOGI (S-3)
FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
YANG DINYATAKAN LULUS DOKTOR PADA YUDISIUM BULAN AGUSTUS TAHUN 2019

DEKAN FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

- Menimbang : a. bahwa berdasarkan hasil yudisium yang telah dilaksanakan oleh Tim Penguji dan norma yang berlaku di Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman, maka yang namanya tersebut dalam lampiran Surat Keputusan ini telah dinyatakan lulus sebagai Doktor Program Studi Biologi (S-3) Yudisium Bulan Agustus Tahun 2019;
- b. bahwa untuk kepentingan tersebut perlu diterbitkan Surat Keputusan Dekan.
- Mengingat : 1. Undang-Undang RI. Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Lembaran Negara RI Nomor 78, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4301);
2. Undang-Undang RI. Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara RI Nomor 158, Tambahan Lembaran Negara Nomor 5336);
3. Peraturan Pemerintah RI. Nomor 4 tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
4. Keputusan Presiden RI Nomor 195 Tahun 1963. jo. Kept. Ment. PTIP Nomor 153 Tahun 1963 tentang Pendirian Universitas Jenderal Soedirman;
5. Permenristekdikti RI Nomor 20 Tahun 2015 tentang Tata Naskah Dinas di Lingkungan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi;
6. Permenristekdikti RI. Nomor 23 Tahun 2017 tentang Perubahan Atas Peraturan Menristekdikti RI. Nomor 10 tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Jenderal Soedirman;
7. Keputusan Rektor Universitas Jenderal Soedirman Nomor 759/UN23/KP.02.02/2017 tanggal 12 Juli 2017 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dekan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.;
- Memperhatikan : Saran dan pertimbangan Pimpinan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan : KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN NOMOR 483/UN23.02/PK.04.01/2019 TENTANG MAHASISWA PROGRAM STUDI BIOLOGI (S-3) FAKULTAS BIOLOGI UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN YANG DINYATAKAN LULUS DOKTOR PADA YUDISIUM BULAN AGUSTUS TAHUN 2019
- Kesatu : Mahasiswa yang namanya tersebut pada kolom 2 (dua) lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Keputusan Dekan ini dinyatakan Lulus sebagai Doktor Program Studi Biologi (S-3) Fakultas Biologi Unsoed pada Yudisium Bulan Agustus Tahun 2019.
- Kedua : Predikat kelulusan mahasiswa tersebut pada kolom 11 (sebelas) lampiran surat keputusan ini.
- Ketiga : Surat keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di : Purwokerto
Pada tanggal : 27 Agustus 2019



LAMPIRAN I

SURAT KEPUTUSAN DEKAN

Nomor : 483/UN23.02/PK.04.01/2019

Tanggal : 27 Agustus 2019

TENTANG MAHASISWA PROGRAM STUDI **BIOLOGI (S-3) FAKULTAS BIOLOGI UNSOED****DINYATAKAN LULUS DOKTOR PADA YUDISIUM BULAN AGUSTUS TAHUN 2019**

No	N a m a	NIM	L/P	Tempat lahir	Tanggal lahir	Tanggal Masuk	Jumlah SKS	Program Studi	IPK	Predikat	Lulus Yudisium	Lama Studi	Doktor ke
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Andri Kurniawan, S.Pi., M.P.	B3A015001	L	Pangkalpinang	05 September 1984	1 September 2015	42	Biologi (S-3)	4,00	Dengan Pujian	27 Agustus 2019	3 Tahun 11 Bulan 27 Hari	6

Keterangan :

Laki-laki = 1

Perempuan = 0

Jumlah = 1

Rata-rata IPK = 4,00

Lama Studi Rata-rata= 3 th, 11 bl, 27 hr

LULUS ANGKATAN

2015

LAMA STUDI

03/11/27

Memuaskan

0

0.00%

SM

0

0.00%

DP

1

100.00%

Jumlah

1

100.00%

1 -4 tahun

1

100.00%

> 4 tahun

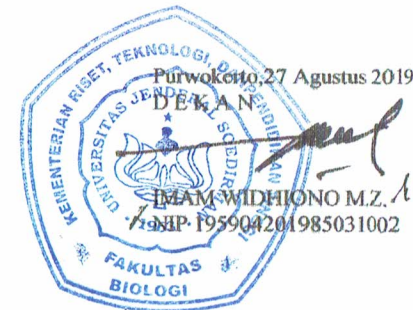
0

0.00%

Jumlah

1

100%





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS BIOLOGI

Jl. dr. Soeparno 63 Karangwangkal Purwokerto 53122
Telp.0281 638794 Email : biologi@unsoed.ac.id

TRANSKRIP AKADEMIK

ACADEMIC TRANSCRIPT

No : 12/UN23.02/PK.05/2019

No. Ijazah : 0012/UN23/B/S-3/2019

Nama / Name : ANDRI KURNIAWAN
Nomor Induk Mahasiswa / Student Number : B3A015001
Tempat & Tanggal Lahir / Place & Date of Birth : Pangkalpinang, 05 September 1984 / Pangkalpinang, September 05, 1984
Fakultas / Faculty : BIOLOGI / BIOLOGY
Jenjang / Level : Doktor (S3) / Postgraduate
Jurusan / Department : Biologi /
Program Studi / Study Program : Biologi / Biology
Akreditasi / Accreditation : B (3093/SK/BAN-PT/Akred/D/XII/2016)
Gelara yang Diperoleh / Degree : Dr.
Tanggal Kelulusan / Date of Graduation : 27 Agustus 2019 / August 27, 2019

No	Kode / Code	Mata Kuliah / Subject	Kredit (K) Credit	Nilai (N) Grade	Angka (A) Score	K x A
1	B3W101	Penyusunan Proposal	3	A	4	12
2	B3W102	Seminar Proposal	2	A	4	8
3	B3W103	Ujian Kualifikasi	3	A	4	12
4	B3W301	Penulisan Disertasi	8	A	4	32
5	B3W302	Ujian Tertutup	2	A	4	8
6	B3W303	Ujian Terbuka	2	A	4	8
7	B3P104	Topik Khusus Rekayasa Genetika	2	A	4	8
8	B3P108	Topik Khusus Biodiversitas Mikroba	2	A	4	8
9	B3P113	Topik Khusus Mikrobiologi Lingkungan Tropis	2	A	4	8
10	B3W2021	Seminar Kemajuan Disertasi 1	1	A	4	4
11	B3W2022	Seminar Kemajuan Disertasi 2	1	A	4	4
12	B3W2023	Seminar Kemajuan Disertasi 3	2	A	4	8
13	B3W2011	Penelitian Disertasi Tahap 1	3	A	4	12
14	B3W2012	Penelitian Disertasi Tahap 2	3	A	4	12
15	B3W2013	Penelitian Disertasi Tahap 3	6	A	4	24
Jumlah/Total			42			168

Indeks Prestasi Kumulatif / Grade Point Average : 4.00

Predikat Kelulusan / Graduation Predicate : Dengan Pujian / Cum Laude

Nilai Mutu / Explanation of Grade :

A : Istimewa / Excellent

B : Baik / Good

C : Cukup / Sufficient

D : Kurang / Poor

AB : Baik Sekali / Very Good

BC : Cukup Baik / Very Fair

CD : Kurang Cukup / Fair Poor

Purwokerto, 27 Agustus 2019



Prof. Dr. rer. nat. Imam Widhiono M.Z., M.S.
NIP. 19590420 198503 1 002

**DIVERSITAS METAGENOM BAKTERI
DI DANAU PASCATAMBANG TIMAH
DENGAN UMUR BERBEDA**

Disertasi ditulis sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor di Program Studi Biologi (S-3) Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

Disertasi ini telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji melalui sidang Ujian Tertutup pada tanggal 31 Juli 2019 dan sidang Ujian Terbuka pada tanggal 27 Agustus 2019

**ANDRI KURNIAWAN
B3A015001**

PERNYATAAN PENERIMAAN DISERTASI

Disertasi dengan judul **Diversitas Metagenom Bakteri di Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda** yang ditulis oleh **Andri Kurniawan** diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor di Program Studi Biologi (S-3) Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

14 Agustus 2019

Dekan Fakultas Biologi
Universitas Jenderal Soedirman



Prof. Dr. Ir. nar. Imam Widhiono MZ, M.S.
NIP. 19590420 198503 1 002

PENGESAHAN TIM PROMOTOR

Disertasi dengan judul **Diversitas Metagenom Bakteri di Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda** yang ditulis oleh **Andri Kurniawan** disahkan oleh Tim Promotor setelah melalui penilaian kelayakan dan kesesuaian standar isi disertasi, dan perbaikan setelah ujian disertasi sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor di Program Studi Biologi (S-3) Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

12 Agustus 2019

Promotor
Dr. Drs. Oedjijono, M.Sc.



Ko-Promotor I
Dr. Ir. Tamad, M.Si.



Ko-Promotor II
Uyi Sulaeman, S.Si., M.Si., Ph.D.

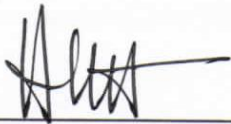


PERSETUJUAN TIM PENELAAH DISERTASI

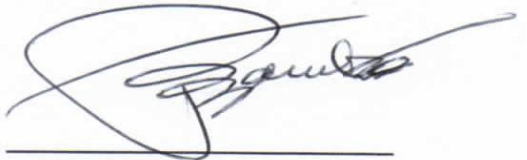
Disertasi dengan judul **Diversitas Metagenom Bakteri di Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda** yang ditulis oleh **Andri Kurniawan** disetujui oleh Tim Penelaah Disertasi setelah melalui perbaikan naskah disertasi sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor di Program Studi Biologi (S-3) Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

12 Agustus 2019

Penelaah Disertasi I
Dr. Drs. Hendro Pramono, M.S.



Penelaah Disertasi II
Prof. Ir. Irfan Dwidya Prijambada, M.Eng., Ph.D.



PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN, HAK CIPTA, DAN HAK PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, **Andri Kurniawan**, Nomor Induk **B3A015001**, dengan disertasi berjudul "**Diversitas Metagenom Bakteri di Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda**" menyatakan bahwa

1. Disertasi merupakan hasil penelitian sendiri dan bukan jiplakan (plagiasi).
2. Keaslian penulisan disertasi telah diperiksa menggunakan program pengecekan plagiasi oleh Tim Pencegahan Plagiasi Program Pascasarjana Biologi, dan dinyatakan memiliki tingkat kesamaan $\leq 10\%$ dengan publikasi-publikasi lain yang tersedia secara daring.
3. Hak cipta disertasi menjadi milik Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.
4. Jika tidak dinyatakan secara terpisah, maka hak publikasi menjadi milik saya dengan mencantumkan Tim Promotor sebagai anggota penulis. Dalam hal sebagian atau seluruh penelitian disertasi dibiayai oleh Tim Promotor, maka sebagian dari publikasi menjadi hak Tim Promotor dengan mencantumkan saya sebagai anggota penulis.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa paksaan atau tekanan apapun dan dari siapapun. Saya bersedia bertanggung jawab secara hukum, apabila terdapat hal-hal yang tidak benar di dalam pernyataan ini.

11 Agustus 2019



Andri Kurniawan

DAFTAR ISI

I.	PENDAHULUAN	1
A.	Latar Belakang.....	1
B.	Rumusan Masalah.....	3
C.	Tujuan Penelitian.....	4
D.	Manfaat Penelitian.....	4
II.	TELAAH PUSTAKA.....	5
A.	Kondisi Ekologis Danau Pascatambang Timah.....	5
B.	Perairan Asam Pascaaktivitas Penambangan	6
C.	Ekofisiologi Mikroorganisme Asidofilik.....	7
D.	Diversitas Mikroorganisme Asidofilik	9
1.	Pengaruh pH terhadap Diversitas Mikroorganisme.....	10
2.	Pengaruh Oksigen Terlarut terhadap Diversitas Mikroorganisme ..	10
3.	Pengaruh Logam terhadap Diversitas Mikroorganisme	11
E.	Adaptasi Mikroorganisme Asidofilik pada Lingkungan Asam.....	11
1.	Kelompok Bakteri.....	13
2.	Kelompok Archaea	18
F.	Analisis Metagenom dan Diversitas Bakteri	18
III.	KERANGKA TEORI	22
A.	<i>State of the Art</i> Penelitian	22
B.	Kebaruan (<i>Novelty</i>) Penelitian.....	26
C.	Peta Jalan (<i>Road Map</i>) Penelitian.....	27
IV.	METODE PENELITIAN	28
A.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
B.	Materi Penelitian	29
1.	Pelaksanaan Penelitian.....	29
2.	Peralatan dan Bahan Penelitian.....	30
C.	Metode dan Variabel atau Parameter Penelitian.....	30
D.	Kerangka Operasional Penelitian	31
E.	Analisis Data Hasil Penelitian	31
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A.	Hasil Penelitian.....	33
1.	Kondisi Lingkungan Danau Pascatambang Timah.....	33
2.	Analisis Variabel Fisika dan Kimia Perairan.....	35
3.	Analisis Unsur-Unsur (<i>Elements</i>)	42
4.	Analisis Diversitas Mikroba	44
5.	Analisis Komponen Utama dan Korelasi Kanonikal	46
B.	Pembahasan	51
1.	Perubahan Faktor Fisika dan Kimia di Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda.....	51
2.	Hubungan antara Diversitas Bakteri dengan Karakteristik Perairan Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda	55
3.	Interaksi Mikroba di Danau Pascatambang Timah.....	70
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	75
A.	Kesimpulan.....	75
B.	Saran	76
	REFERENSI	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan karakteristik tanah di Pulau Bangka	6
Tabel 3.1. Intisari beberapa hasil penelitian yang terkait dengan aspek fisika, kimia, dan biologi pascaaktivitas penambangan timah.....	22
Tabel 5.1. Bentuk unsur-unsur (<i>elements</i>) berdasarkan Diagram Pourbaix.....	41
Tabel 5.2. Konsentrasi unsur-unsur (<i>elements</i>) dari danau pascatambang timah	43
Tabel 5.3. Variabel lingkungan dan diversitas mikroba pada <i>cross-correlations</i>	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik <i>scatter</i> antara suhu optimal dan pH optimal kelompok asidofilik.....	9
Gambar 2.2.	Mekanisme adaptasi dan proses asosiasi asidofilik dengan pH	12
Gambar 2.3.	Mekanisme adaptasi archaea terhadap pH rendah.....	13
Gambar 2.4.	Skema kesembilan <i>hypervariable</i> dan <i>conserved regions</i> dari gen 16S rRNA	19
Gambar 2.5.	Bagan alir tahapan utama di dalam analisis metagenom dengan menggunakan metode NGS	21
Gambar 3.1.	Peta jalan (<i>road map</i>) penelitian.....	27
Gambar 4.1.	Peta stasiun penelitian di Desa Riding Panjang, Kecamatan Merawang, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.	28
Gambar 4.2.	Kerangka operasional pada tahapan penelitian	32
Gambar 5.1.	Visualisasi danau pascatambang timah di (A) Stasiun A yang berumur kurang dari 1 tahun; (B) Stasiun B yang berumur antara 5-10 tahun; dan (C) Stasiun C yang berumur lebih dari 15 tahun.	33
Gambar 5.2.	Rerata suhu air di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2).	35
Gambar 5.3.	Rerata pH air di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2)	36
Gambar 5.4.	Rerata pH tanah di stasiun penelitian dengan yang diukur dengan jarak 1-2 m dari danau pascatambang timah.....	36
Gambar 5.5.	Rerata nilai TDS dan TSS di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2)	37
Gambar 5.6.	Rerata nilai nitrat, nitrit, total amonia, dan total nitrogen di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2)	38
Gambar 5.7.	Rerata nilai dan total fosfat di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2)	38
Gambar 5.8.	Rerata nilai DO, BOD, dan COD di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1)	39
Gambar 5.9.	Rerata nilai C-organik di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2)	40

Gambar 5.10. Rerata nilai potensial redoks di stasiun penelitian dengan sampel air dari kedalaman 0-4 m (A.1; B.1; C.1) dan sampel komposit dari kedalaman > 4 m (A.2; B.2; C.2)	40
Gambar 5.11. Tektur tanah di stasiun penelitian sebelum dilakukan Penambangan.....	42
Gambar 5.12. Distribusi kelimpahan relatif mikroorganisme pada tingkat taksa filum	45
Gambar 5.13. Analisis PCA terhadap faktor fisika dan kimia di danau pascatambang timah	46
Gambar 5.14. Analisis PCA terhadap unsur-unsur (<i>elements</i>) di danau pascatambang timah	47
Gambar 5.15. Analisis CCA diversitas mikroba di danau pascatambang timah dengan umur berbeda	48
Gambar 5.16. <i>Cross-correlations</i> diversitas mikroorganisme asidofilik di danau pascatambang timah dengan umur berbeda.....	49
Gambar 5.17. <i>Cross-correlations</i> masing-masing variabel di danau pascatambang timah dengan umur berbeda.....	51
Gambar 5.18. Skema interaksi antarvariabel fisika, kimia, dan unsur-unsur (<i>elements</i>) di danau pascatambang timah dengan umur berbeda ..	53
Gambar 5.19. Skema interaksi antarfilum di danau pascatambang timah dengan umur berbeda.....	70
Gambar 5.20. Pengklasteran hierarki dari sekuen klon mikroorganisme di stasiun penelitian melalui <i>weighted unifrac</i>	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Pengukuran Faktor Fisika dan Kimia Lingkungan di Stasiun Penelitian	100
Lampiran 2.	Kelimpahan relatif taksa filum mikroba.....	101
Lampiran 3.	Kelimpahan relatif taksa genus mikroba	102

RINGKASAN

Aktivitas penambangan timah merupakan salah satu penyebab kerusakan ekosistem di Pulau Bangka. Kerusakan yang ditimbulkannya antara lain deforestasi, ketidakseimbangan ekologis yang didukung oleh adanya perubahan makroekosistem, akumulasi cemaran logam yang dapat berdampak negatif bagi kesehatan manusia, kehilangan nutrisi tanah, dan terbentuknya danau-danau buatan pascatambang timah. Berbagai upaya terus dilakukan untuk mengembalikan fungsi ekologis lingkungan seperti reboisasi dan konservasi tumbuhan di lahan pascatambang timah hingga pemanfaatan danau yang terbentuk dari kegiatan penambangan tersebut sebagai sumber air untuk aktivitas primer maupun sekunder.

Danau-danau pascatambang timah yang selama ini dimanfaatkan merupakan danau yang telah sangat lama ditinggalkan pascaaktivitas penambangan atau berumur tua. Hal ini dipengaruhi kondisi perairan danau berumur tua yang tampak lebih baik dibandingkan danau yang baru terbentuk. Asumsi yang muncul adalah sekuen waktu yang terjadi di danau pascatambang timah telah menyebabkan suatu perubahan faktor fisika dan kimia di lingkungan tersebut. Konsekuensi logis dari perubahan variabel tersebut menyebabkan perubahan faktor biologinya. Hipotesis tersebut harus diungkap melalui analisis korelasi yang menjelaskan keterkaitan setiap perubahan faktor fisika, kimia, dan biologi di danau pascatambang timah dalam sekuen waktu tertentu.

Diversitas mikroorganisme asidofilik adalah salah satu bioindikator yang dapat digunakan di dalam kajian terkait perubahan mikroekologi di perairan asam (*acid mine drainage*). Mikroba asidofilik memiliki kemampuan bertahan hidup (*survive*) pada suatu perairan ekstrem yang bersifat asam. Studi diversitas mikroba asidofilik ini mengantarkan pada suatu pengetahuan tentang perubahan kualitas perairan danau pascatambang timah dalam kurun waktu berbeda serta pengelolaan air danau agar lebih layak (*habitable*) khususnya bagi organisme perairan.

Penelitian diversitas metagenom bakteri di danau pascatambang timah dengan umur berbeda bertujuan untuk mengetahui (1) kualitas air di danau pascatambang timah berumur kurang dari 1 tahun, antara 5-10 tahun, dan lebih dari 15 tahun; (2) diversitas metagenom bakteri dari danau pascatambang timah dengan umur berbeda; dan (3) korelasi antara diversitas bakteri dan perubahan lingkungan perairan selama kurun waktu tertentu di danau pascatambang timah.

Instrumen dan metode analisis yang digunakan di dalam penelitian adalah termometer untuk suhu udara serta pH-Moisture meter untuk pH tanah dan kelembaban tanah; tekstur atau fraksi tanah dianalisis menggunakan metode hydrometer; pH meter untuk nilai pH air; termometer untuk suhu air; metode gravimetri untuk *Dissolved Oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solid* (TSS); TDS meter untuk *Total Dissolved Solid* (TDS); metode destilasi Kjeldal secara titrasi untuk total nitrogen; sension meter *electrode* 5192000 untuk nitrat; ORP meter untuk potensial reduksi oksidasi (redoks/Eh); metode Walkey & Black untuk C-organik (karbon organik); dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengukur kandungan unsur-unsur (*elements*). Beberapa variabel lainnya diukur menggunakan spektrofotometer seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD); total fosfat; nitrit; dan total amonia. Analisis metagenom mikroba dilakukan dengan metode *Next Generation Sequencing* (NGS) menggunakan *Illumina MiSeq System* yang menargetkan V3 dan V4 *region* dari gen 16S rRNA.

Hasil penelitian menunjukkan rerata nilai pengukuran di Stasiun A (danau berumur kurang dari 1 tahun), yaitu suhu air (30,8-30,9°C), pH air (2,7-2,9), pH tanah (5,1), TDS (160,6-166,3 ppm), TSS (7,5-109,5 ppm), nitrat (0,31-0,81 ppm), nitrit (0,02 ppm), total amonia (0,08-0,11 ppm), total nitrogen (0,59-0,69 ppm), total fosfat (0,055-0,056 ppm), DO (4,05 ppm), BOD (2,21 ppm), COD (8,04 ppm), C-organik (161 ppm), dan potensial reduksi oksidasi (Eh) (0,72-0,76 V).

Hasil pengukuran di Stasiun B (danau berumur antara 5-10 tahun) menunjukkan rerata suhu air (29,6-30,6°C), pH air (2,7-3,1), pH tanah (pH 4,8), TDS (122,3-124,5 ppm), TSS (12,0-173,0 ppm), nitrat (0,38-0,82 ppm), nitrit (0,02 ppm), total amonia (0,13-0,15 ppm), total nitrogen (0,78-0,92 ppm), total fosfat (0,058-0,060 ppm), DO (5,80 ppm), BOD (2,96 ppm), COD (11,40 ppm), C-organik (364 ppm), dan Eh (0,57-0,69 V).

Hasil pengukuran di Stasiun C (danau berumur lebih dari 15 tahun) menunjukkan rerata suhu air (30,7-31,9°C), pH air (7,2), pH tanah (pH 6,8), TDS (139,5-139,8 ppm), TSS (7,5-27,1 ppm), nitrat (0,29-0,39 ppm), nitrit (0,03 ppm), total amonia (0,10-0,14 ppm), total nitrogen (0,40-0,69 ppm), total fosfat (0,064 ppm), DO (6,16 ppm), BOD (2,61 ppm), COD (10,65 ppm), C-organik (219 ppm), dan Eh (0,24-0,35 V).

Hasil analisis faktor fisika dan kimia lingkungan menunjukkan bahwa Stasiun A dan Stasiun B (danau pascatambang timah berumur kurang dari 10 tahun) memiliki karakteristik yang relatif sama, yaitu pH rendah atau bersifat asam serta nilai DO, total fosfat, dan nitrit yang rendah, namun nilai Eh, total nitrogen, nitrat, BOD, dan TSS tinggi. Karakteristik yang berbeda ditemukan di Stasiun C (danau pascatambang timah berumur lebih dari 15 tahun) yang pH netral serta nilai DO, total fosfat, dan nitrit yang tinggi, namun nilai Eh, total nitrogen, nitrat, BOD, dan TSS rendah.

Analisis terhadap unsur-unsur (*elements*) menunjukkan bahwa di ketiga stasiun penelitian terdapat 28 jenis unsur. Distribusi unsur-unsur (*elements*) lebih banyak ditemukan di Stasiun C dibandingkan danau berumur kurang dari 10 tahun (Stasiun A dan Stasiun B). Unsur Al, Br, Ca, Cl, P, Rb, Ti, Y, As, Co, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Th, dan Zn merupakan 17 unsur yang ditemukan dalam konsentrasi tertinggi di Stasiun C dibandingkan di Stasiun A dan Stasiun B. Sebelas unsur-unsur (*elements*) lainnya ditemukan di Stasiun A ataupun Stasiun B memiliki konsentrasi lebih tinggi dibandingkan Stasiun C, yaitu Cr, Fe, Hf, Sn, Ta, Te, V, K, Mg, S, dan Si. Analisis unsur-unsur (*elements*) menunjukkan tiga pola distribusi unsur-unsur (*elements*) di danau pascatambang timah, yaitu (1) pola korelasi positif atau penurunan; (2) pola korelasi negatif atau peningkatan; serta (3) pola dinamis (peningkatan atau penurunan) seiring lamanya umur danau pascatambang timah.

Analisis diversitas mikroba menunjukkan diversitas mikroba teridentifikasi terdiri atas 22 filum dari *Kingdom* Bakteri dan 3 filum dari *Kingdom* Archaea. Diversitas mikroorganisme di Stasiun A didominasi *Kingdom* Bakteri yang memiliki kelimpahan relatif sebesar 92,68% dan Archaea sebesar 7,2%. *Kingdom* Bakteri didominasi oleh sejumlah filum, yaitu Proteobacteria (30%), Actinobacteria (22%), Chloroflexi (18%), Firmicutes (9%), Acidobacteria (5%), Planctomycetes (5%), dan Bacteroidetes (1%) serta *Kingdom* Archaea didominasi Euryarchaeota (6,2%) dan Crenarchaeota (1%).

Diversitas mikroorganisme di Stasiun B didominasi *Kingdom* Bakteri yang memiliki kelimpahan relatif sebesar 99,49% dan Archaea sebesar < 1%. *Kingdom* Bakteri didominasi oleh sejumlah filum, yaitu Bacteroidetes (44%), Proteobacteria (24%), Chloroflexi (8%), Firmicutes (7%), Planctomycetes (6%), Acidobacteria

(4%), dan Actinobacteria (1%) serta Kingdom Archaea didominasi Crenarchaeota (< 1%). Kandidat Filum Parcubacteria (OD1) juga ditemukan tertinggi di Stasiun B (3%), sedangkan di Stasiun A dan Stasiun C ditemukan dengan jumlah < 1%.

Diversitas mikroorganisme di Stasiun C didominasi Kingdom Bakteri yang memiliki kelimpahan relatif sebesar 99,37% dan Archaea sebesar < 1%. Kingdom Bakteri didominasi oleh sejumlah filum, yaitu Planctomycetes (38%), Proteobacteria (37%), Bacteroidetes (4,2%), Chloroflexi (4%), Chlorobi (3%), Cyanobacteria (3%), Acidobacteria (2%), Firmicutes (2%), Spirochaetes (1%), dan Thermi (1%) serta Kingdom Archaea didominasi Euryarchaeota (< 1%).

Analisis korelasi menunjukkan bahwa perubahan faktor fisika dan kimia lingkungan di danau pascatambang timah memiliki korelasi dengan diversitas mikroba di ekosistem tersebut. Korelasi ini terlihat pada klusterisasi mikroba di danau yang berumur kurang dari 1 tahun dan berumur antara 5-10 tahun memiliki hubungan lebih dekat dibandingkan dengan danau berumur lebih dari 15 tahun. Hal ini juga relevan dengan karakteristik perairan di danau pascatambang timah berumur kurang dari 10 tahun dibandingkan danau berumur lebih dari 15 tahun.

Kata kunci: danau pascatambang timah, perbedaan umur danau, faktor lingkungan, diversitas bakteri, next generation sequencing

SUMMARY

Tin mining activity is one of ecosystem degradation sources in Bangka Island. The ecosystem degradations include deforestation, ecological imbalance supported by macroecosystem changes, accumulation of metal contamination which can have a negative impact on human health, loss of soil nutrients, and the formation of post-tin mining lakes. Some efforts have been carrying out to restore the functions of environmental ecological such as reforestation and conservation of plants on post-tin mining land until the utilization of post-tin mining lakes as a source of water for primary and secondary activities.

The post-tin mining lakes which have been utilized are lakes that have been abandoned for a long time after mining activities or old age. This is influenced by the condition of the old-aged lakes that better than the newly formed lakes. The existing assumption is the time sequence that occurred in the post-tin mining lakes have caused a change in physical and chemical factors of the environment. The logical consequence of these variables changes causes also changes in their biological factors. The hypothesis must be revealed through a correlation analysis which explains the relationship between changes in physical, chemical, and biological factors in post-tin mining lakes in a particular sequence of times or chronosequence.

Diversity of acidophilic microorganisms is one of the bioindicators that can be used in studies related to microecological changes in acid mine drainage. Acidophilic microbes have the ability to survive in extreme acidic waters. The study of acidophilic microbial diversity leads to a knowledge of changes in the water quality of post-tin mining lakes in different periods and the management of lake water to be more habitable, especially for aquatic organisms.

The research on the metagenomes diversity of bacteria in post-tin mining lakes with a different age to know (1) the water quality in post-tin mining lakes less than 1 year, between 5-10 years, and more than 15 years in age; (2) bacterial metagenomes diversity of post-tin mining with a different age; and (3) the correlation between bacterial diversity and environmental changes in certain time sequences in post-tin mining lakes.

The instruments and analytical methods in the study were thermometer for air temperature and pH-Moisture meter for soil pH and soil moisture; texture or soil fraction was analyzed by the hydrometer method; pH meter for pH value of water; thermometer for water temperature; gravimetric method for Dissolved Oxygen (DO), Biological Oxygen Demand (BOD), and Total Suspended Solid (TSS); TDS meter for Total Dissolved Solid (TDS); Kjeldal distillation method in titration for total nitrogen; sension meter electrode 5192000 for nitrate; ORP meters for redox potential (Eh); Walkey & Black method for C-organic (organic carbon); and X-Ray Fluorescence (XRF) to measure the content of elements. The other variables were measured by a spectrophotometer such as Chemical Oxygen Demand (COD); total phosphate; nitrite; and total ammonia. Analysis of microbial metagenom was carried out by the Next Generation Sequencing (NGS) method using Illumina MiSeq System which targeted the V3 and V4 regions of the 16S rRNA gene.

The results showed a mean value of measurements at Station A (lake less than 1 year), namely water temperature (30.8-30.9°C), water pH (2.7-2.9), soil pH (5.1), TDS (160.6- 166.3 ppm), TSS (7.5-109.5 ppm), nitrate (0.31-0.81 ppm), nitrite (0.02 ppm), total ammonia (0.08-0.11 ppm), total nitrogen (0.59-0.69 ppm), total

phosphate (0.055-0.056 ppm), DO (4.05 ppm), BOD (2.21 ppm), COD (8.04 ppm), C-organic (161 ppm), and reduction oxidation potential (redox/Eh) (0.72-0.76 V).

The measurement results at Station B (lake with age 5-10 years) showed the average water temperature (29.6-30.6°C), water pH (2.7-3.1), soil pH (pH 4.8), TDS (122.3-124.5 ppm), TSS (12.0-173.0 ppm), nitrate (0.38-0.82 ppm), nitrite (0.02 ppm), total ammonia (0.13-0.15 ppm), total nitrogen (0.78-0.92 ppm), total phosphate (0.058-0.060 ppm), DO (5.80 ppm), BOD (2.96 ppm), COD (11.40 ppm), C-organic (364 ppm), and Eh (0.57-0.69 V).

The measurement results at Station C (lake more than 15 years) showed the average water temperature (30.7-31.9°C), water pH (7.2), soil pH (pH 6.8), TDS (139.5-139.8 ppm), TSS (7.5-27.1 ppm), nitrate (0.29-0.39 ppm), nitrite (0.03 ppm), total ammonia (0.10-0.14 ppm), total nitrogen (0.40-0.69 ppm), total phosphate (0.064 ppm), DO (6.16 ppm), BOD (2.61 ppm), COD (10.65 ppm), C-organic (219 ppm), and Eh (0.24-0.35 V).

The analysis results of physical and environmental chemical factors showed that Station A and Station B (post-tin mining lake less than 10 years) had relatively the same characteristics, namely low pH or acidic, low DO, total phosphate, and nitrite values, otherwise Eh value, total nitrogen, nitrate, BOD, and TSS were high value. The different characteristics were found at Station C (post-tin mining lakes more than 15 years) that had a neutral pH, high DO, total phosphate, and nitrite values, while Eh value, total nitrogen, TSS, nitrate, BOD, and TSS were low value.

Analysis of the elements showed that in the three research stations there were 28 elements. The distribution of elements were more found at Station C than lakes aged less than 10 years (Station A and Station B). Elements of Al, Br, Ca, Cl, P, Rb, Ti, Y, As, Co, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Th, and Zn were 17 metal elements found in the highest concentration at Station C than Station A and Station B. Eleven other elements at Station A or Station B were higher concentrations than at Station C, namely Cr, Fe, Hf, Sn, Ta, Te, V, K, Mg, S, and Si. Elements analysis showed three patterns of elements distribution in the post-tin mining lakes, namely (1) a positive correlation pattern or decreasing in concentration; (2) a negative correlation pattern or an increasing in concentration; and (3) a dynamic pattern (increasing or decreasing) over the age of post-tin mining lakes.

The microbial diversity analysis showed diversity of microbes identified consist of 22 phylum from Kingdom Bacteria and 3 phylum Kingdom Archaea. Microorganism diversity in Station A was dominated Kingdom Bacterial (92.68%) and Archaea (7.2%). Kingdom Bacterial was dominated phylum such as Proteobacteria (30%), Actinobacteria (22%), Chloroflexi (18%), Firmicutes (9%), Acidobacteria (5%), Planctomycetes (5%), and Bacteroidetes (1%), while Kingdom Archaea was dominated Euryarchaeota (6.2%) and Crenarchaeota (1%).

Microorganism diversity in Station B was dominated Kingdom Bacterial (99.49%) and Archaea (< 1%). Kingdom Bacterial was dominated phylum such as Bacteroidetes (44%), Proteobacteria (24%), Chloroflexi (8%), Firmicutes (7%), Planctomycetes (6%), Acidobacteria (4%), and Actinobacteria (1%), while Kingdom Archaea was dominated Crenarchaeota (< 1%). Candidatus Phylum Parcubacteria (OD1) was found highest in the Station B (3%), while in Station A and Station B was found in relative abundance < 1%.

Microorganism diversity in Station C was dominated Kingdom Bacterial (99.37%) and Archaea (< 1%). Kingdom Bacterial was dominated phylum such as Planctomycetes (38%), Proteobacteria (37%), Bacteroidetes (4.2%), Chloroflexi (4%), Chlorobi (3%), Cyanobacteria (3%), Acidobacteria (2%), Firmicutes (2%),

Spirochaetes (1%), and Thermi (1%), while Kingdom Archaea was dominated Euryarchaeota (< 1%).

The correlation analysis showed that changes in physical and chemical factors of the environment in post-tin mining lakes had a correlation with the diversity of microbes in the ecosystem. This correlation was shown in the microbial clustering in lakes that were less than 1 year and between 5-10 years which have a closer relationship compared to lake that was more than 15 years. This was also relevant to the characteristics of waters in post-mining lakes that were less than 10 years compared to lake more than 15 years.

Keywords: post-tin mining lake, age difference, environmental factors, bacterial diversity, next generation sequencing

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil' alamin, segala puji syukur dihaturkan kepada Allah SWT Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan berbagai nikmat tanpa terputus dan berbilang bagi penulis. Shalawat dan salam juga disampaikan bagi junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan keteladan di dalam kehidupan ini.

Penulis menyusun Disertasi dengan judul **Diversitas Metagenom Bakteri di Danau Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda** sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor dan menyelesaikan pendidikan di Program Studi Biologi (S-3), Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu di dalam proses penelitian hingga penyusunan disertasi ini, antara lain:

1. Dr. Drs. Oedjijono, M.Sc. selaku promotor serta Dr. Ir. Tamad, M.Si. dan Uyi Sulaeman, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku ko-promotor yang telah banyak memberikan ilmu, arahan, bimbingan, dan saran konstruktif bagi penulis di dalam menyelesaikan tahapan penelitian dan proses penulisan disertasi.
2. Dr. Drs. Hendro Pramono, M.S. dan Prof. Ir. Irfan Dwidya Prijambada, M.Eng., Ph.D. selaku penelaah yang juga telah memberikan ilmu dan bimbingannya sehingga penelitian dan penulisan disertasi ini menjadi lebih baik.
3. Dr. Ir. Iman Rusmana, M.Si. dan Dr. Ir. Mohammad Nurcholis, M.Agr. selaku penguji eksternal serta Dr. Sri Lestari, S.Si., M.Si. selaku penguji internal yang telah memberikan banyak ilmu, saran, dan pemahaman tentang substansi dari penelitian dan penulisan disertasi ini.
4. Prof. Dr.rer.nat. Imam Widhiono MZ, M.S. selaku Dekan Fakultas Biologi dan Dra. Ardhini Rin Maharning, M.Sc., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Biologi (S-3) yang telah memfasilitasi dan mendukung kelancaran pendidikan di Program Studi Biologi (S-3), Universitas Jenderal Soedirman.
5. Dr.rer.nat. W. Lestari M.Sc. selaku pembimbing akademik serta Dr. Agus Nuryanto, S.Si., M.Si., Dr.rer.nat. Drs. Moh. Husein Sastranegara, M.Si., Romanus Edy Prabowo, S.Si., M.Sc., Ph.D., dan (alm) Prof. Drs. Agus Irianto, M.Sc., Ph.D. yang telah berkenan meluangkan waktunya untuk memotivasi, membimbing, berdiskusi, dan memberikan arahan yang baik untuk studi ini.

6. Mas Endi Heriatmoko (Laboran di Laboratorium Geologi, Universitas Jenderal Soedirman), Ibu Tri Purwanti (Laboran di Laboratorium Bioteknologi, Pusat Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada), Ibu Triastuti Rahayu, M.Si. (Universitas Muhammadiyah Solo), Mas Bobi, Mas Dicky, dan Mba Norma (Laboran di Laboratorium Karantina Ikan Pangkalpinang) yang membantu selama penelitian di laboratorium, Ajie, Azmi, Jenny, Rizky, dan Bang Yeyen yang ikut membantu selama penelitian di lapangan (stasiun penelitian), serta Mas Ipung, Mas Hasim, Mba Erna, dan semua pihak yang telah mendukung kelancaran penelitian, disertasi, dan studi ini.
7. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) tahun 2015-2019 serta Hibah Penelitian Disertasi Doktor (PDD) dengan Nomor Kontrak Hibah 120.G/UN50.3.1/PP/2018.

Penulis berharap penelitian dan disertasi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang mikrobiologi lingkungan serta pengelolaan perairan di danau pascatambang timah yang ditinggalkan. Penelitian dan Disertasi ini hanyalah sebuah karya kecil yang tidak sempurna dan luput dari kekurangan. Semoga para pembaca berkenan memberi masukan demi peningkatan kualitas penelitian dan perbaikan di dalam penyajian karya ilmiah pada masa mendatang.

Purwokerto, Agustus 2019

Penulis

BIOGRAFI PENULIS

Penulis dilahirkan di Pangkalpinang, 5 September 1984 sebagai anak kedua dari empat bersaudara, keluarga Bapak Sutarhan, S.Pd. dan Ibu Siti Nursidah. Penulis telah menikah dengan Diah Mustikasari, S.Pi., M.Si. dan dikaruniai seorang putri bernama Aila Aqueena Anddisti.

Pendidikan formal tingkat perguruan tinggi yang penulis jalani dimulai dari Program Studi D3 Agroteknologi Hasil Perikanan, Institut Pertanian Bogor (tahun 2002-2005) dan kemudian melanjutkan pendidikan alih jenjang S1 di Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Brawijaya (tahun 2005-2007). Penulis mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan pascasarjana di Program Studi S2 Budidaya Perairan, Universitas Brawijaya (tahun 2007-2009) melalui Program Beasiswa Unggulan, Kementerian Pendidikan Nasional. Penulis juga memperoleh Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi pada tahun 2015 untuk meneruskan pendidikan pascasarjana di Program Studi Biologi (S-3), Universitas Jenderal Soedirman.

Penulis bekerja sebagai dosen tetap di Program Studi/Jurusan Akuakultur, Universitas Bangka Belitung sejak tahun 2011 dan dipercaya mengampu beberapa mata kuliah antara lain Dasar-Dasar Mikrobiologi Akuatik serta Parasit dan Penyakit Ikan. Beberapa karya ilmiah berupa artikel penelitian telah dipublikasikan di jurnal internasional, yaitu Indonesian Journal of Chemistry (terindex Scopus, Q3), di jurnal terakreditasi nasional seperti Omni-Akuatika dan Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia, serta di jurnal tidak terakreditasi nasional. Penulis juga telah menulis dua buku, yaitu Penyakit Akuatik (tahun 2012. UBB Press. ISBN 978-979-1373-43-2) dan Akuaponik: Sederhana Berhasil Ganda (tahun 2013. UBB Press. ISBN 978-979-1373-47-0) dan satu monograf, yaitu Cempedik: Entitas Pulau Belitung (tahun 2018. Penerbit Samudera Biru. ISBN 978-602-5610-94-3).

Sejumlah hibah penelitian dan pengabdian masyarakat pernah penulis peroleh seperti hibah fundamental, hibah bersaing, hibah dosen pemula, hibah pengabdian kn dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, serta hibah pengabdian kepada masyarakat dari Pemerintah Daerah Kabupaten Bangka Barat dan PT. Timah (Persero) Tbk. Hasil-hasil penelitian dan pengabdian masyarakat tersebut telah dilaporkan dalam bentuk publikasi, diseminasi, dan paparan di dalam seminar lokal maupun nasional.

Penulis haturkan disertasi ini sebagai bentuk ucapan terima kasih kepada:

Kedua orang tua, yaitu Bapak Sutarhan S.Pd. dan Ibu Siti Nursidah yang telah memberikan segalanya bagi perjuangan ananda di dalam kehidupan dan pendidikan yang telah dijalani selama ini.

Diah Mustikasari, S.Pi., M.Si. dan Aila Aqueena Anddisti yang senantiasa bersama serta menemani buya dalam berbagai proses perjalanan dan juga mengikhlaskan sebagian waktu bermainnya digunakan untuk menyelesaikan studi ini.

Nurulia Susanti, S.Farm., Apt., Arif Sastriadi Putra, S.T., Pipit Rakhmawati, S.P., Ibu Komariah, Bapak Imron Vanany, S.H., Pandu Wijayanto, S.Pt., Indah Permata Sari, Zulfikar Bayu Aji, Asri Rejeki, (alm) Adi Surahman, dan (alm) Ali Arridlo yang telah memberikan berbagai dukungan dalam setiap kesempatan.

Muntoro, S.P., M.Sc., Ardiansyah Kurniawan, S.Pi., M.P., Euis Asriani, S.Si., M.Si., Suci Puspita Sari S.Si., M.Si., Bapak Mohammad Chaeron, S.H., Bapak Muchtar, Bapak Samsul Bahri, dan Bapak M. Mabruk sebagai sahabat dan keluarga yang turut mewarnai langkah ini.

Keluarga besar dan semua pihak yang telah berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan.