

**Pemanfaatan Kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan
Konsorsium Bakteri Denitrifikasi dalam Mereduksi Konsentrasi Nitrat,
Fosfat dan Kelimpahan *Microcystis***

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Biologi

oleh

NENNA SAKTI ISMAYA PUTRI

0810913015-91



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2012

LEMBAR PENGESAHAN

Pemanfaatan Kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan Konsorsium Bakteri Denitrifikasi dalam Mereduksi Konsentrasi Nitrat, Fosfat dan Kelimpahan *Microcystis*

oleh

**NENNA SAKTI ISMAYA PUTRI
0810913015-91**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 20 Juli 2012
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Biologi**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Catur Retnaningdyah M.Si
NIP. 19680103 199103 2 002**

**Dr. Suharjono M.Si
NIP. 19630223 198802 1 001**

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Biologi
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Widodo, SSi., Ph.D.Med.Sc
NIP. 19730811 20000 1 002**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nenna Sakti Ismaya Putri

NIM : 0810913015-91

Jurusan : Biologi

Penulis skripsi berjudul :

Pemanfaatan Kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan Konsorsium Bakteri Denitrifikasi dalam Mereduksi Konsentrasi Nitrat, Fosfat dan Kelimpahan *Microcystis*, dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka skripsi ini, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.
2. Apabila kemudian hari diketahui bahwa isi skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 20 Juli 2012

Yang menyatakan,

(Nenna Sakti Ismaya Putri)

NIM. 0810913015-91

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipannya hanya dapat dilakukan seijin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Pemanfaatan Kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan Konsorsium Bakteri Denitrifikasi dalam Mereduksi Konsentrasi Nitrat, Fosfat dan Kelimpahan *Microcystis*

Nenna Sakti Ismaya Putri , Catur Retnaningdyah, Suharjono
Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dengan konsorsium bakteri pereduksi nitrat *indigenous* Waduk Sutami dalam mereduksi nitrat-fosfat dan kelimpahan *Microcystis*. Penelitian dilakukan secara eksperimental skala laboratorium dengan delapan perlakuan dan tiga kali ulangan. Parameter fisikokimiawi yang diukur meliputi suhu, pH, konduktivitas, DO (*dissolved oxygen*), intensitas cahaya, nitrat dan fosfat pada hari ke-0, 6, 12 dan 15. *Microcystis* dihitung setiap hari selama 15 hari. Produktivitas makrofita dihitung pada akhir perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri mampu mereduksi nitrat sebanyak 80,40 %, ortofosfat 89,82 % pada hari ke enam dan kelimpahan *Microcystis* menurun pada hari ketiga sebanyak 37,9 % dan 99 % pada hari ke-15. Produktivitas makrofita tertinggi terjadi pada kombinasi *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat. Perlakuan *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri dapat diaplikasikan sebagai agen bioremediator pencemaran nitrat-fosfat di perairan.

Kata kunci : Bioremediasi, konsorsium bakteri pereduksi nitrat, *Microcystis*, N dan P

The Capability of *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* and Denitrifying Bacteria to Reduce Nitrate, Ortofosfat Concentration and *Microcystis* Density

Nenna Sakti Ismaya Putri , Catur Retnaningdyah, Suharjo
Department of Biology, Mathematic and Natural Science Faculty
Brawijaya University

ABSTRACT

The aims of this research were to know the effect of *Typha angustifolia* and *Equisetum ramosissium* and on of both and indigenou denitrifying bacteria from Sutami reservoir to reduce nitrate-phosphate and control density of *Microcystis*. This research was carried out experimentally in glasshouse with eight treatments and three replication. The water quality such as temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, light intensity, nitrate and phosphate were measured in 1st, 6th, 12nd, and 15th day of cultivation. *Microcystis* density measured every day during 15 days. Hidromacrophyte productivity was determined at the end of bioremediation treatment. The research result showed that combination of *T. angustifolia*, *E. ramosissium* and denitrifying bacteria was potential to reduce nitrat up to 80,4 %, phosphate up to 89,8 % in 6th days and decrease density of *Microcystis* about to 37,9 % in 3rd days and 99 % in 15th. The highest macrophyte productivity was occured in the treatment of combination between *T. angustifolia*, *E. ramosissium* and denitrifying bacteria. This combination treatment can be applied as a bioremediator agent of nitrate-phosphate contaminant in waters.

Keywords : bioremediation, denitrifying bacteria, *Microcystis*, N and P

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah pada Allah SWT atas rahmat, taufik, serta hidayahNya, sehingga skripsi yang berjudul ” Pemanfaatan Kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan Konsorsium Bakteri Denitrifikasi dalam Mereduksi Konsentrasi Nitrat, Fosfat dan Kelimpahan *Microcystis*” dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammmad SAW.

Dalam penyusunan skripsi ini mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, diucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Catur Retnaningdyah, M.Si dan Bapak Dr. Suharjono M.Si selaku pembimbing skripsi, atas ilmu dan kesabaran dalam membimbing penyelesaian skripsi ini.
2. Ibu Dr. Endang Ariesoesiloningsih, M.S dan Bapak Dian Siswanto, S.Si., M.Si selaku dosen penguji skripsi, atas saran, ilmu dan motivasinya untuk menjadi lebih baik.
3. Dr. Nunung Harijati selaku penasehat akademik selama kurang lebih tiga tahun, atas segala bimbingan, nasehat, serta kesabarannya dalam membimbing selama masa perkuliahan.
4. Ketua, dosen-dosen Jurusan Biologi, staf administrasi, dan laboran jurusan Biologi.
5. Ayahanda Trisakti Hendrianto dan Ibunda Triwati untuk doa dan dukungannya.
6. Saudara-saudaraku Hasnia Sakti Oktavia Putri, Novaldy Surya Sakti, dan Andra Abdul Sakti untuk doa dan dukungannya.
7. Bayu Agung Prahardika, Viky Vidayanti, Aliyah Siti Sundari dan Zidny Furaidah sebagai satu tim penelitian bioremediasi.
8. Teman-teman Biologi angkatan 2008, 2009 dan 2010 serta berbagai pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.
9. I-MHERE JB UB yang telah memberikan bantuan dana melalui research grant untuk Penelitian.

Skripsi ini masih ada kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi penulisan karya-karya selanjutnya yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Malang, 20 Juli 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Ekosistem Air Tawar.....	5
2.2 Eutrofikasi dan Pengaruhnya terhadap Fitoplankton	6
2.3 Bioremediasi	8
2.4 <i>Typha angustifolia</i> dan <i>Equisetum ramosissium</i>	10
2.5 Bakteri Denitrifikasi.....	11
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Rancangan dan Variabel Penelitian.....	13
3.3 Pembuatan Stok Kultur Konsorsium Bakteri	13
3.4 Eksplorasi dan Pemurnian <i>Microcystis</i>	15
3.5 Uji Pengaruh Bioremediasi	15
3.6 Pengukuran Konsentrasi Nitrat dan Ortofospat.....	16
3.7 Penghitungan <i>Microcystis</i> Produktivitas Hidromakrofitas	16
3.8 Analisis Data	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Penurunan Kadar Fosfat dan Nitrat pada Perlakuan Bioremediasi.....	19
4.2 Respon Pertumbuhan <i>Microcystis</i> pada Variasi Perlakuan	26
4.3 Respon Pertumbuhan <i>Typha angustifolia</i> dan <i>Equisetum</i>	

ramosissium pada Perlakuan Bioremediasi..... 32

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 37

 5.1 Kesimpulan 37

 5.2 Saran..... 37

DAFTAR PUSTAKA 39

LAMPIRAN 45

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

1.	Parameter faktor fisikokimiawi yang diukur pada penelitian.....	14
2.	Persentase penurunan konsentrasi ortofosfat pada perlakuan bioremediasi pada pengamatan hari ke-6, 12 dan 15.....	40
3.	Persentase penurunan konsentrasi nitrat pada perlakuan bioremediasi pada pengamatan hari ke-6, 12 dan 15.....	40
4.	Komposisi Media TSA (<i>Trypticase Soy Agar</i>).....	40
5.	Komposisi Media TSB (<i>Trypticase Soy Broth</i>).....	40
6.	Komposisi Buffer Fosfat.....	40
7.	Isolat-isolat bakteri yang digunakan.....	14
8.	Uji normalitas <i>Carrying Capacity</i> dan Laju Pertumbuhan.....	45
9.	Hasil deskriptif <i>carrying capacity</i>	45
10.	Hasil deskriptif laju pertumbuhan.....	45
11.	Hasil uji <i>Homogeneity Carrying Capacity</i>	46
12.	Hasil uji <i>Homogeneity</i> laju pertumbuhan.....	46
13.	Hasil uji Duncan laju pertumbuhan.....	46
14.	Hasil uji t Ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-6.....	47
15.	Hasil uji t Ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-12.....	47
16.	Hasil uji t Ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-15.....	47
17.	Hasil uji t Nitrat pada hari ke-0 dan ke-15.....	48
18.	Hasil uji t Nitrat pada hari ke-0 dan ke-15.....	48
29.	Hasil uji t Nitrat pada hari ke-0 dan ke-15.....	48

DAFTAR GAMBAR

1.	Contoh Tanaman <i>Typha</i> dan <i>Equisetum</i>	10
2.	Isolat-isolat bakteri yang di inokulasikan pada medium TSB (<i>Trypticase Soy Broth</i>).....	13
3.	Hubungan penurunan ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-6, hari ke-0 dan ke-12 dan hari ke-0 dan ke-15	18
4.	Hubungan penurunan ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-6, hari ke-0 dan ke-12 dan hari ke-0 dan ke-15	21
5	Konsentrasi ammonia setelah perlakuan bioremediasi..	23
6	Pola pertumbuhan <i>Microcystis</i> yang diamati selama 15 hari	24
7	<i>Carrying capacity</i> sel <i>Microcystis</i>	26
8.	Laju pertumbuhan <i>Microcystis</i> pada perlakuan dan kontrol	26
9.	Hasil pengukuran faktor abiotik pada hari ke-0, 6, 12, dan 15.....	27
10	Hasil penghitungan produktivitas basah dari empat perlakuan dengan hidromakrofit.....	31
11	Akar dari <i>Typha</i> dan <i>Equisetum</i>	32
12	Hasil Penurunan Konsentrasi Ortofosfat (perlakuan tanpa penambahan <i>Microcystis</i>).....	41
13	Hasil Penurunan Konsentrasi Ortofosfat (perlakuan dengan penambahan <i>Microcystis</i>).....	41
14	Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat (perlakuan tanpa penambahan <i>Microcystis</i>).....	42
15	Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat (perlakuan dengan penambahan <i>Microcystis</i>).....	42
16	Hasil pengamatan sel <i>Microcystis</i> pada perbesaran 400x	49
17	Kontrol dan perlakuan selama penelitian.....	49
18	Kurva Standar Nitrat.....	50
29	Kurva Standar Ortofosfat.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

1. Prosentase penurunan konsentrasi ortofosfat dan nitrat.....	40
2. Hasil analisis penurunan ortofosfat dengan penambahan <i>Microcystis</i> dan tanpa penambahan <i>Microcystis</i>	41
3. Hasil analisis penurunan nitrat dengan penambahan <i>Microcystis</i> dan tanpa penambahan <i>Microcystis</i>	42
4. Komposisi Bahan yang digunakan.....	21
5 Hasil Uji ANOVA untuk <i>carrying capacity</i> dan laju pertumbuhan dengan α 0,05.....	45
6 Hasil Uji t konsentrasi ortofosfat pada hari ke-0, 6, 12, dan 15.....	47
7 Hasil Uji t-test konsentrasi nitrat pada hari ke-0, 6, 12, dan 15.....	47
8. Dokumentasi perlakuan selama penelitian.....	49
9. Kurva Standar Nitrat dan Fosfat.....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai, rawa dan danau merupakan contoh ekosistem perairan air tawar alami dimana organisme autotrof pada sistem ekosistem perairan ini terdiri dari berbagai macam kumpulan fitoplankton dan tanaman air (Whitton,1975). Produsen primer di sungai, danau dan waduk terdiri dari fitoplankton, bakteri, alga bentik (perifiton), dan makrofita perairan sebagai suatu ekosistem memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai jenis perairan dan organisme yang ada di dalamnya (Thorthon dkk.,1990). Tipe organisme yang ada di dalamnya dipengaruhi oleh jenis perairan oleh masuknya air dari lingkungannya.

Pencemaran lingkungan merupakan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya (Effendi,2003). Beberapa dampak pencemaran perairan akibat pertanian, industri dan pemukiman antara lain adanya padatan tersuspensi akan mengendap di dasar perairan, sehingga menyebabkan pendangkalan serta merusak berbagai organisme akuatik. Bahan-bahan yang menimbulkan rasa dan bau, kesadahan yang terlalu tinggi, bahan-bahan beracun serta berbagai logam berat menyebabkan air tidak dapat digunakan lagi sebagai air baku untuk minum maupun lainnya. Keadaan ekologi yang tidak seimbang mengakibatkan melimpahnya beberapa genus tertentu, yang mengindikasikan kualitas perairan yang dimaksud mengalami penurunan kualitas (Klein,1972).

Perairan Waduk Sutami yang terletak di daerah Kabupaten Malang pada tahun 2002 mengalami *blooming* populasi spesies mikroalga cyanobacteria khususnya dari *Microcystis* (Retnaningdyah dkk.,2011b). *Microcystis* merupakan salah satu jenis alga biru-hijau yang biasanya hidup di permukaan air. Pada kondisi normal *Microcystis* tidak merugikan tetapi dalam kondisi tertentu misalnya pada kondisi perairan dengan kandungan nutrisi yang tinggi (khususnya nitrat) dan pada musim kemarau dapat tumbuh dengan cepat dan menyebabkan terjadinya *blooming* populasi (Barnes dan Mann,1991). Saat kondisi *blooming*, *Microcystis* menghasilkan

microcystin yang mempunyai sifat racun yang tinggi terhadap tanaman dan hewan serta dapat menyebabkan kematian (Sejnovova, 2008).

Menurut hasil penelitian sebelumnya, *blooming* dari Cyanobacteria terjadi di perairan dengan kandungan rasio Total Nitrat (TN) : Total Fosfat (TP) kurang dari 29 (Fujimoto dan Sudo,1997; Smith,1983). *Blooming* dapat terjadi pada rasio dari TN:TP < 29 atau TN:TP > 29 dengan kandungan nitrat dan fosfat yang sangat tinggi. *Blooming* tidak terjadi pada perairan jika konsentrasi fosfat rendah meskipun keberadaan nitrat cukup (Xie dkk.,2003;Retnaningdyah dkk.,2010;Retnaningdyah dkk.,2011). Pengendalian *blooming* populasi ini salah satunya dapat dilakukan dengan mengoptimalisasi kemampuan dari mikroba *in situ* khususnya bakteri yang mampu mereduksi penyebab *blooming* (Retnaningdyah dkk.,2009). Metode ini disebut bioremediasi yang dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme denitrifikasi. Pemanfaatan bakteri denitrifikasi *in situ* dalam mereduksi nitrat pada ekosistem tertentu cukup efektif serta aman bagi keseimbangan ekosistem tersebut (Pinar dkk.,1997). Konsorsium bakteri memiliki diversitas tinggi yang berpotensi mereduksi nitrat di perairan (Cebon dkk.,2003 ; Heylen dkk.,2006). Konsorsium merupakan jenis asosiasi yang saling menguntungkan bagi mikroorganisme yang berhubungan, serta saling bekerja sama untuk melakukan aktivitas yang saling menguntungkan misalnya bekerja sama dalam menurunkan konsentrasi suatu senyawa berlebih yang ada di habitat hidup mikroorganisme tersebut (Sanchez,2006).

Typha angustifolia mempunyai nilai estetika yang tinggi untuk digunakan sebagai tanaman hias. Tanaman ini mempunyai nilai ekonomi tinggi dibanding dengan tanaman hias lainnya. *Typha angustifolia* telah terbukti mampu digunakan sebagai bioakumulator logam yaitu kromium, tembaga dan Zn (Baeren dan Sheza,2008). Selain itu tanaman ini mampu digunakan sebagai agen bioremediator pencemaran petroleum (Pavanelli,2008). *Equisetum ramosissium* selain digunakan sebagai tanaman hias juga dapat digunakan sebagai agen bioremediator pada pencemaran logam berat (Anh dkk.,2010). Penelitian ini mengkombinasikan antara bakteri pereduksi nitrat *indigenous* Waduk Sutami dengan tumbuhan *T. angustifolia* dan *E.ramosissium* dalam mereduksi kandungan nitrat dan fosfat untuk mengendalikan terjadinya *blooming Microcystis*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kemampuan *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat dengan penambahan *Microcystis* dalam mereduksi konsentrasi nitrat dan fosfat di perairan?
2. Bagaimana respon pertumbuhan (penurunan kelimpahan) *Microcystis* terhadap perlakuan bioremediasi tersebut?
3. Bagaimana respon pertumbuhan *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* terhadap perlakuan bioremediasi tersebut?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui potensi kombinasi *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* dengan konsorsium bakteri pereduksi nitrat *indigenous* Waduk Sutami dalam mereduksi konsentrasi nitrat-fosfat.
2. Mengetahui penurunan kelimpahan *Microcystis*.
3. Mengetahui respon pertumbuhan *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* terhadap perlakuan bioremediasi tersebut.

1.4 Manfaat

1. Memperoleh teknologi bioremediasi dengan memanfaatkan hidromakrofit untuk menanggulangi pencemaran air akibat tingginya konsentrasi nitrat dan fosfat.
2. Mengendalikan *blooming Microcystis* guna mengurangi kerugian pada petani ikan.
3. Hidromakrofit yang digunakan dalam proses remediasi dapat dimanfaatkan lagi sehingga mempunyai nilai ekonomi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Perairan Air Tawar

Perairan sebagai suatu ekosistem tentunya memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai jenis perairan dan organisme yang ada di dalamnya. Tipe organisme yang ada di dalamnya dipengaruhi oleh jenis perairan serta oleh masuknya air dari lingkungannya. Menurut Crites dan Tchobanoglous (1998) beberapa alga yang hidup pada komunitas perairan tercemar limbah organik adalah *Stigeoclon tenue*, *Navicula* spp., *Fragillaria* spp., dan *Synedra* spp. Alga yang berhubungan dengan air bersih adalah *Cladophora*, *Ulothrix*, dan *Navicula*, sedangkan alga yang berhubungan dengan perairan yang tercemar adalah *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, dan *Stigeoclonium*. Alga hijau (*Chlorophyceae*) biasa berkembang pada perairan antara perairan tidak tercemar dengan perairan sangat tercemar. Beberapa keuntungan peninjauan secara biologis terhadap mutu lingkungan, antara lain adalah:

- 1) Analisis biologis dapat memberikan informasi yang relevan mengenai kondisi kualitas air secara sederhana dan cepat.
- 2) Pada keadaan lingkungan yang kurang baik atau tidak menguntungkan, beberapa biota perairan masih dapat bertahan dalam bentuk struktur komunitas.
- 3) Analisis secara biologi dapat memberikan informasi yang tidak dapat diberikan metode lain. Misalnya mengenai pengaruh bahan toksik terhadap organisme bioindikator.
- 4) Analisis biologi tidak memberikan informasi yang tepat akan zat pencemaran kimia, tetapi dapat memberikan gambaran atau petunjuk akan kejadian tersebut secara khusus dengan melihat hubungan atau respon (Soewignyo dkk., 1986).

Fitoplankton dan perifiton sebagai produsen primer, berperan sebagai dasar rantai makanan. Selain itu, fitoplankton juga berperan sebagai penyedia oksigen di dalam ekosistem perairan yang sangat dibutuhkan untuk mendukung kehidupan organisme lain pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Waduk Sutami merupakan salah satu perairan menggenang yang terletak di Kabupaten Malang. Waduk ini mempunyai fungsi antara lain sebagai pengendali banjir, pembangkit tenaga listrik, irigasi, pariwisata, perikanan darat dan sebagai

penyedia bahan baku air minum (Jasa Tirta, 2007). Iklim di sekitar Waduk Sutami adalah sama dengan rata-rata daerah lain di Jawa Timur, mengalami dua musim yaitu musim hujan (Nopember - April) dan musim kemarau (Mei - Oktober) dengan curah hujan tahunan rata-rata di Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar 2300 mm. Temperatur rata-rata harian di sekitar lokasi waduk kurang lebih 25°C, sedangkan kelembaban udara pada musim hujan sekitar 87 % dan pada musim kemarau kurang lebih 74 % (Dinas Infokom Jatim, 2008).

2.2 Eutrofikasi dan Pengaruhnya terhadap Fitoplankton

Sifat atau mutu perairan dapat diketahui melalui pendugaan pada hasil pengukuran atau pengamatan parameter fisika, kimia, dan biologi. Penentuan kualitas perairan secara biologi dapat dianalisis secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan mengamati jumlah kelimpahan jenis organisme yang hidup di lingkungan perairan tersebut dan dihubungkan dengan keanekaragaman jenisnya. Analisis secara kualitatif adalah dengan mengamati jenis-jenis organisme yang mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan tertentu (Soewignyo dkk., 1986). Eksistensi suatu organisme atau sekumpulan biota pada habitatnya didukung oleh kondisi lingkungan yang serasi. Pada kondisi lingkungan (karakteristik fisika dan kimia) yang stabil, organisme hewani dan nabati dapat berkembang lebih baik. Adanya variabel lingkungan yang berubah akan mempengaruhi komunitas organisme secara keseluruhan. Perubahan komunitas ini antara lain terjadi pada komposisi jenis, spesies, bentuk morfologi individu, anatomis, fisiologis, dan jumlah individu. Jika suatu lingkungan mengalami perubahan, maka organisme yang ada di dalamnya juga mengalami perubahan dalam komunitasnya. Organisme yang mampu mendiami suatu lokasi yang mengalami perubahan lingkungan akan menjadi bioindikator lingkungannya, yaitu organisme yang selalu ada dan tidak menghilang. Perubahan yang mendasar pada struktur komunitas akibat perubahan lingkungan tersebut adalah terjadinya perubahan keanekaragaman jenis pada komunitas yang bersangkutan (Basmi, 1999).

Eutrofikasi merupakan sebuah fenomena terakumulasinya konsentrasi berbagai nutrisi di suatu perairan yang mengakibatkan tumbuhnya biomassa khususnya mikroalga dan makrofita ekuatik

yang berlebih. Hal ini disebabkan oleh kandungan nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}) dalam konsentrasi yang tinggi di perairan. Ada enam indikator utama yang dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya eutrofikasi di suatu perairan tawar, yaitu menurunnya konsentrasi oksigen terlarut di zona hipolimnotik, meningkatnya konsentrasi unsur hara, meningkatnya padatan tersuspensi terutama bahan organik, bergantinya populasi fitoplankton yang dominan dari kelompok diatom ke kelompok *chlorophyceae*, meningkatnya konsentrasi fosfat dan nitrat dan menurunnya penetrasi cahaya (terjadi peningkatan kekeruhan) (Marganof, 2007).

Perairan air tawar dapat dibedakan menjadi tiga kategori berdasarkan kandungan unsur hara, yaitu perairan eutrofik, oligotrofik dan mesotrofik. Perairan eutrofik merupakan perairan dangkal, tumbuhan litoral melimpah, kepadatan plankton lebih tinggi, sering terjadi *blooming* alga dengan penetrasi cahaya yang rendah (Marganof, 2007). Menurut Palmer dan Roy (2001) berdasarkan kandungan fosfat dan klorofil kondisi eutrofik pada suatu perairan air tawar memiliki kandungan fosfat total sebesar 0,035-0,1 mg/L dan kandungan klorofil sebesar 0,008-0,025 mg/L. Berdasarkan kandungan CaCO_3 dan pH, perairan eutrofik memiliki kandungan CaCO_3 lebih dari 30mg/L dan pH lebih dari tujuh.

Fitoplankton adalah organisme yang hidup melayang-layang di dalam air, relatif tidak memiliki daya gerak, sehingga eksistensinya sangat dipengaruhi oleh gerakan air seperti arus, dan lain-lain (Odum, 1971). Menurut Reynolds (1984) fitoplankton yang hidup di air tawar terdiri dari tujuh kelompok besar filum, yaitu: Cyanophyta (alga biru), Cryptophyta, Chlorophyta (alga hijau), Chrysophyta, Pyrrophyta (dinoflagellates), Raphidophyta, dan Euglenophyta. Setiap jenis fitoplankton yang berbeda dalam kelompok filum tersebut mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap kondisi perairan, sehingga komposisi jenis fitoplankton bervariasi dari satu tempat ke tempat lain (Welch, 1952). Plankton air tawar dibedakan menjadi limnoplankton dan rheoplankton. Limnoplankton hidup di perairan tergenang, sedangkan rheoplankton hidup di perairan mengalir. Keberadaan plankton di perairan mengalir dipengaruhi oleh lingkungan sungai yang seringkali komposisinya berubah yang berkaitan dengan pergerakan air, kekeruhan, suhu, dan nutrisi (Hynes, 1972). Perkembangan komunitas fitoplankton sungai dipengaruhi oleh turbulensi aliran dan turbiditas yang berkaitan

dengan partikel tersuspensi. Welch (1952) mengungkapkan bahwa beberapa faktor yang mempengaruhi distribusi kelimpahan fitoplankton dalam suatu perairan adalah arus, kandungan unsur hara, predator, suhu, kecerahan, kekeruhan, pH, gas-gas terlarut, maupun kompetitor. Fitoplankton yang melimpah di suatu perairan berkaitan dengan pemanfaatan unsur hara dan radiasi sinar matahari. Selain itu, suhu, faktor lingkungan dan pemangsaan oleh zooplankton juga ikut berperan. Besar kecilnya konsentrasi nutrisi sangat ditentukan oleh kondisi lingkungan itu sendiri maupun masuknya air dari luar.

Penelitian Soedarti pada tahun 2006 memperoleh hasil pengukuran parameter fisokokimiawi air sampel perairan Waduk Sutami Malang yaitu rata-rata temperatur pada seluruh stasiun berkisar 27-28,4 °C dan pH berkisar 6,6-8. Temperatur ini sesuai dengan temperatur optimum bagi produktivitas fitoplankton yaitu 25-30°C. Selain temperatur, konsentrasi oksigen terlarut yang optimum di perairan air tawar yaitu > 7 mg/L. Oksigen dapat menjadi faktor penting sebagai pembatas bagi kehidupan organisme di suatu perairan jika konsentrasinya kurang dari konsentrasi optimum. Konsentrasi oksigen yang berkurang di suatu perairan dapat diakibatkan karena pencemaran lingkungan di perairan tersebut. Konsentrasi oksigen yang terlarut di dalam air digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi sampah organik sehingga menjadi bahan yang mudah menguap yang umumnya ditandai dengan bau busuk seperti fenomena terjadinya *blooming Microcystis*.

2.3 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan suatu teknologi inovatif pengolahan limbah, yang dapat menjadi teknologi alternatif dalam menangani pencemaran yang diakibatkan oleh kegiatan pertambangan di Indonesia (Effendi,1979). Bioremediasi bertujuan untuk memecah atau mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun (karbon dioksida dan air). Ada dua jenis bioremediasi, yaitu *in-situ* (atau *on-site*) dan *ex-situ* (atau *off-site*). Pembersihan *on-site* adalah pembersihan di lokasi. Bioremediasi *ex-situ* atau pembersihan *off-side* dilakukan dengan cara tanah yang tercemar digali dan dipindahkan ke dalam penampungan yang lebih terkontrol, kemudian diberi perlakuan khusus dengan menggunakan mikroorganisme. Bioremediasi *ex-situ* dapat berlangsung lebih cepat, mampu meremediasi jenis kontaminan dan jenis tanah yang

lebih beragam dan lebih mudah dikontrol dibanding dengan bioremediasi *in-situ* (Effendi, 1979).

Ada empat teknik dasar yang biasa digunakan dalam bioremediasi:

1. Stimulasi aktivitas mikroorganisme asli (di lokasi tercemar) dengan penambahan nutrien, pengaturan kondisi redoks, optimasi pH dan sebagainya.
2. Inokulasi (penanaman) mikroorganisme di lokasi tercemar, yaitu mikroorganisme yang memiliki kemampuan biotransformasi yang spesifik.
3. Penerapan *immobilized enzymes*.
4. Penggunaan tanaman (*phytoremediation*) untuk menghilangkan atau mengubah pencemar.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses bioremediasi antara lain temperatur, derajat keasaman, kelembaban tanah, sifat dan struktur geologis lapisan tanah, lokasi sumber pencemar, ketersediaan air, nutrien (N, P, K), perbandingan C : N kurang dari 30:1, dan ketersediaan oksigen. Contoh proses bioremediasi bagi lingkungan yang tercemar minyak bumi. Pertama yang dilakukan adalah mengaktifkan bakteri alami pengurai minyak bumi yang ada di dalam tanah yang mengalami pencemaran tersebut. Bakteri ini kemudian akan menguraikan limbah minyak bumi yang telah dikondisikan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kebutuhan hidup bakteri tersebut. Dalam waktu yang cukup singkat kandungan minyak akan berkurang dan akhirnya hilang, inilah yang disebut sistem bioremediasi (Effendi, 1979).

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Fitoremediasi dapat dibagi menjadi fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi (Effendi, 1979). Fitoekstraksi mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang. Rizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah. Fitodegradasi adalah metabolisme kontaminan di dalam jaringan tumbuhan, misalnya oleh enzim dehalogenase dan oksigenase. Fitostabilisasi adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer. Fitovolatilisasi

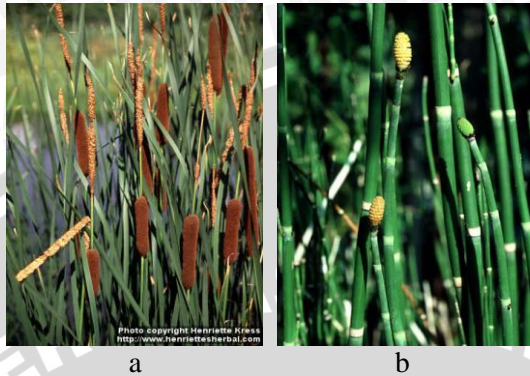
terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun; dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun (Effendi, 1979)..

Keuntungan utama dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis. Kelemahan fitoremediasi adalah dari segi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan juga terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut (Effendi, 1979). Sejumlah tumbuhan terbukti dapat beradaptasi terhadap lingkungan marginal dan ekstrim seperti tanah yang terkontaminasi zat-zat beracun dan memiliki kualitas fisik, kimia maupun biologis sangat rendah. Tumbuhan-tumbuhan tersebut bahkan ada yang memiliki toleransi tinggi sehingga mampu menyerap dan mengakumulasi logam kontaminan di dalam jaringannya. Potensi ini sangat penting dan berguna untuk dimanfaatkan sebagai mediator pembersih tanah dan perairan yang tercemar (Effendi, 1979).

2.4 *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*

Klasifikasi *T. angustifolia*. menurut Kartesz, dkk., (1999) Kingdom [Plantae](#), Subkingdom [Tracheobionta](#), Superdivision [Spermatophyta](#), Division [Magnoliophyta](#), Kelas [Liliopsida](#), Subkelas [Commelinidae](#), Ordo [Typhales](#), Famili [Typhaceae](#), Genus [Typha](#). Tumbuhan ini hidup pada tanah basah (*wetland*) dan tergenang air. *Typha* dewasa menghasilkan bunga yang berbentuk lonjong di bagian ujung atas. Bunga pada *Typha* berwarna coklat tua (gambar 1a). *Typha angustifolia* terbukti mampu menjadi agen bioremediasi pada pencemaran minyak di perairan. Pencemaran minyak ini mampu diturunkan oleh *T. angustifolia* sebanyak 30 % selama jangka waktu 120 hari untuk pencemaran petroleum (Pavanelli, 2008).

Klasifikasi *Equisetum ramosissium* menurut Plantamor (2008) Kingdom Plantae, Divisi Pteridophyta, Kelas Equisetopsida, Ordo Equisetales, Famili Equisetaceae, Genus Equisetum, Spesies *Equisetum ramosissium* Roxb. Menurut Smith, dkk., (2006), [batang](#) *Equisetum* berwarna hijau, beruas-ruas, berlubang di tengahnya, berperan sebagai organ [fotosintetik](#) menggantikan daun (Gambar 1b).

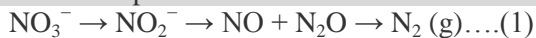


Gambar 1. Contoh tanaman *Typha* (a) dan *Equisetum* (b)

Equisetum memiliki batang yang dapat bercabang. Cabang duduk mengitari batang utama. Batang ini banyak mengandung [silika](#). Ada kelompok yang batangnya bercabang-cabang dalam posisi berkarang dan ada yang bercabang tunggal. [Daun](#) pada semua anggota tumbuhan ini tidak berkembang baik, hanya menyerupai sisik yang duduk berkarang menutupi ruas. [Spora](#) tersimpan pada struktur berbentuk [gada](#) yang disebut *strobilus* (jamak *strobili*) yang terletak pada ujung batang (*apical*). Pada banyak [spesies](#) (misalnya *E. arvense*), batang penyangga strobilus tidak bercabang dan tidak berfotosintesis (tidak berwarna hijau) serta hanya muncul segera setelah musim salju berakhir. Jenis-jenis lain tidak memiliki perbedaan (batang steril mirip dengan batang pendukung strobilus), misalnya *E. palustre* dan *E. debile*. Paku ekor kuda menyukai tanah yang basah (*wetland*), baik berpasir maupun berlempung, beberapa bahkan tumbuh di air (batang yang berongga membantu adaptasi di lingkungan ini) (Smith dkk., 2006).

2.5 Bakteri Denitrifikasi

Denitrifikasi merupakan proses reduksi nitrat kembali menjadi gas nitrogen. Nitrat digunakan sebagai akseptor elektron selama respirasi. Denitrifikasi umumnya berlangsung melalui beberapa kombinasi dari bentuk peralihan



Proses denitrifikasi lengkap dapat dinyatakan sebagai reaksi redoks



Pada tahap berlangsungnya siklus nitrogen, terjadi pembebasan dan pengikatan N_2 bebas (*atmospheric nitrogen*). Proses denitrifikasi dalam tanah dilakukan oleh beberapa spesies bakteri *Pseudomonas*. Sejumlah jenis bakteri lain seperti *Paracoccus*, *Thiobacillus* dan *Bacillus* juga mampu melakukan proses denitrifikasi (Damanik dkk., 2010). Bakteri-bakteri ini umumnya aerob tetapi pada kondisi anaerob juga mampu menggunakan nitrat, oksigen berperan sebagai akseptor elektron akhir (*anaerobic respiration*). Bakteri bersifat kemoheterotropik yaitu menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Beberapa spesies mengoksidasi senyawa-senyawa anorganik tereduksi seperti NH_3 untuk energi dan menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon (kemo autotrof). Ada tiga mekanisme yang menyebabkan hilangnya nitrogen dalam bentuk gas yaitu denitrifikasi, reaksi-reaksi kimia dan penguapan gas NH_3 .

Mikroorganisme yang mempunyai fungsi utama sebagai penyedia unsur nitrogen melalui penambatan nitrogen atmosfer yaitu mikroorganisme yang hidup bebas (*free living microbe*) dan mikroorganisme yang melakukan hubungan simbiotik dengan tanaman (Yuwono, 2009). Proses denitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kelembaban yang tinggi, pH netral (6,8-8,0), ketersediaan karbon, konsentrasi oksigen terlarut dan temperatur yang tinggi. Proses denitrifikasi tidak lepas dari peranan bakteri denitrifikasi, bakteri yang berperan dalam denitrifikasi umumnya merupakan bakteri anaerobik. Terdapat tiga kelompok bakteri denitrifikasi yaitu bakteri pereduksi NO_3 menjadi N_2O , bakteri pereduksi NO_2 menjadi N_2 , dan bakteri pereduksi NO_3 menjadi NO_2 , NO , N_2O .

Pada kondisi normal maka nitrogen dapat diproses menjadi bentuk amonium atau bentuk nitrat yang langsung tersedia bagi tanaman. Keadaan tertentu saat udara dalam tanah terbatas akibat drainase yang kurang baik (air menggenang) atau disebabkan oleh pemakaian berlebihan bahan organik mentah yang bersifat mudah busuk sehingga nitrat dan nitrit yang terbentuk akan menghasilkan gas nitrogen atau hasil oksidasi lain yang akhirnya dapat menguap ke udara. Peristiwa ini terjadi dalam tanah yang dilakukan terutama oleh organisme anaerobik yang aktif dalam keadaan tanpa oksigen dan akan terjadi reduksi (Hardjadi, 2008).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Pengambilan data dilaksanakan mulai bulan Januari 2012 hingga April 2012. Peremajaan konsorsium bakteri pereduksi nitrat dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang. Uji ammonium dilakukan di PT Jasa Tirta Cabang Malang. Uji kualitas air dilakukan di Laboratorium Ekologi dan Diversitas Hewan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

3.2 Rancangan dan Variabel Penelitian

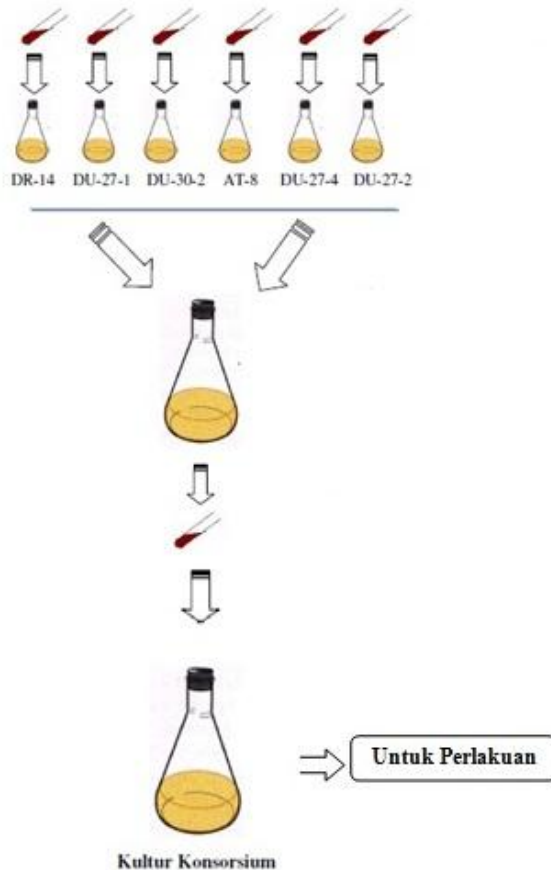
Penelitian ini berupa eksperimental dengan delapan perlakuan dengan tiga kali ulangan menggunakan Rancangan Acak Lengkap, perlakuannya meliputi :

- 1: *E. ramosissium* + *T. angustifolia* + Air Waduk Sutami
- 2: *E. ramosissium* + *T. angustifolia* + Air Waduk Sutami + *Microsytis*
- 3: *E. ramosissium* + *T. angustifolia* + Konsorsium Bakteri
- 4: *E. ramosissium* + *T. angustifolia* + Konsorsium Bakteri + *Microsytis*
- 5: Air Waduk Sutami
- 6: Air Waduk Sutami + *Microcystis*
- 7: Air Waduk Sutami + Konsorsium Bakteri
- 8: Air Waduk Sutami + Konsorsium Bakteri + *Microcystis*

3.3 Pembuatan Stok Kultur Konsorsium Bakteri

Isolat yang digunakan yaitu konsorsium bakteri yang diperoleh dari isolat-isolat bakteri pereduksi nitrat *indigenous* Waduk Sutami yang diisolasi oleh peneliti terdahulu (Retnaningdyah, 2009). Kode isolat-isolat bakteri tersebut adalah DR-14, DR-27-1, DU-30-1, DU-30-2, TA-8, DU-27-4. Isolat-isolat bakteri yang digunakan pada penelitian ini masing-masing diremajakan dengan menggosokkan satu oose bakteri ke dalam medium TSA (*Trypticase Soy Agar*) miring kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang sebagai stok kultur. Stok kultur konsorsium diinokulasikan pada media TSB (*Trypticase Soy Broth*) diinkubasi dengan agitasi 120 rpm pada suhu 30 °C selama 24 jam. Masing-masing isolat dalam media tersebut

diinokulasikan sebanyak 10 % kedalam media TSB, kemudian digojog pada *rotary shaker* (Kühner) dengan kecepatan 120 rpm pada suhu 27 °C selama 24 jam sebagai stok inokulum. Stok inokulum disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm pada suhu 27 °C, selama 15 menit. Pelet diambil kemudian di larutkan pada air Waduk Sutami steril dan dihitung sampai 3×10^6 sel/ml) (Gambar 2). Konsorsium bakteri pada media air Waduk Sutami steril ditambahkan pada perlakuan yang menggunakan tambahan konsorsium bakteri pereduksi nitrat *indigeneous* Waduk Sutami Malang.



Gambar 2. Isolat-isolat bakteri yang diinokulasikan pada medium TSB (*Trypticase Soy Broth*)

3.4 Eksplorasi dan Pemurnian *Microcystis*

Sampel *Microcystis* diambil di daerah Waduk Sutami yang terjadi *blooming*. Air diambil di bagian permukaan air. Sampel air yang didapat disaring menggunakan *plankton net*. Air hasil saringan dibilas dengan NaCl 0,85 % steril dan dimasukkan ke dalam botol dan disimpan dalam *coolbox*. Sel dimasukkan ke dalam media selektif dan kemudian dihitung kepadatan *Microcystis* sebagai stok inokulum sebanyak 10^7 sel/ml.

3.5 Uji Pengaruh Bioremediasi

Perlakuan dilakukan pada bak berdiameter 50 cm diisi dengan 10 liter air Waduk Sutami dan 20 kg tanah sawah untuk perlakuan *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan kombinasi perlakuan *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat. Perlakuan konsorsium bakteri dan kontrol dilakukan pada aquarium yang diisi dengan 4 liter air Waduk Sutami dan 3 kg tanah sawah. Semua media perlakuan dan kontrol diberi fosfat 0,4 mg/L dan nitrat 16 mg/L. Pada perlakuan *Microcystis* diberi *Microcystis* (10^6 sel/ml) dan pada perlakuan konsorsium bakteri diberi tambahan sel bakteri (10^6 sel/ml) (Retnaningdyah, 2010 dan Retnaningdyah, 2011). Seluruh perlakuan diinkubasi selama 15 hari. *Microcystis* dihitung setiap hari. Uji kualitas air (pH, DO, konduktivitas, suhu, dan intensitas cahaya) serta perhitungan konsentrasi nitrat dan fosfat dilakukan pada hari ke-0, 6, 12 dan 15 (Tabel 1). Produktivitas hidromakrofita dilakukan pada hari terakhir inkubasi.

Tabel 1. Parameter faktor fisikokimiawi yang diukur selama penelitian

No.	Parameter	Satuan	Metode/Alat
I. Analisis lapangan			
1.	Temperatur	°C	Termometer digital
2.	pH	-	pH meter
3.	Konduktivitas	mS/cm	Konduktivimeter
4.	Oksigen terlarut	mg/L	Oksigenmeter
II. Analisis laboratorium			
6.	Nitrat (NO_3^-)	mg/L	Spektrofotometri
7.	Ortofosfat	mg/L	Spektrofotometri

3.6 Pengukuran Konsentrasi Nitrat dan Ortofosfat

Pembuatan stok nitrat dilakukan dengan melarutkan 0,7218 g KNO_3 dalam satu liter akuades, kemudian dipanaskan pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ di oven selama 24 jam. Larutan tersebut mengandung nitrat sebanyak 100 mg/L. Konsentrasi nitrat diukur dengan metode *Brucine* dengan cara lima ml sampel hasil saringan menggunakan kertas saring *Whatman* ditambahkan 0,5 ml larutan *Brucine*, dihomogenkan. Kemudian ditambahkan larutan H_2SO_4 , pekat, dihomogenasikan lagi, didinginkan hingga warnanya stabil. Setelah itu diukur absorbansinya pada panjang gelombang 410 nm. Konsentrasi nitrat dihitung dengan mengkonversi nilai absorbansi ke persamaan regresi dari kurva standar nitrat. Perhitungan konsentrasi fosfat dilakukan dengan metode *Stannous chloride* dengan mengambil media kultur sebanyak 10 ml, disaring dan filtrat yang diperoleh ditetesi 0,4 ml $\text{H}_2\text{Mo}_7\text{N}_6\text{O}_{24}$, kemudian dihomogenasi, ditetesi dua tetes *stannous chloride*, dihomogenasi lagi dan yang terakhir di absorbansi dengan panjang gelombang 690 nm sehingga didapatkan konsentrasi fosfat dalam konsentrasi (mg/L).

3.7 Penghitungan *Microcystis* dan Produktivitas Makrofita

Sel *Microcystis* dihitung dengan mengambil 100 ml sampel air, disaring dengan *plankton net*, dididihkan selama enam menit, kemudian didinginkan. Sel diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 400 kali dan dihitung menggunakan *haemocytometer* dengan rumus:

(jumlah sel terhitung x volume terkonsentrasi) / (($1 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$) x volume tersaring)

Hidromakrofita yang digunakan diaklimatisasi terlebih dahulu selama kurang lebih dua sampai tiga minggu. Hidromakrofita yang digunakan dipotong terlebih dahulu untuk mendapatkan umur yang sama, sebelum dilakukan aklimatisasi, sehingga pada saat digunakan tanamannya mempunyai umur yang sama sehingga kebutuhan dan kemampuan dalam menggunakan nitrat dan fosfat pada pertumbuhannya sama pada semua hidromakrofita yang digunakan. Hidromakrofita yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu sebagai berat awal sebelum perlakuan. Setelah 15 hari perlakuan, hidromakrofita yang digunakan dibersihkan terlebih dahulu antara batang dan bagian tanaman yang lain. Produktivitas dihitung dengan rumus: (berat basah-berat kering). $\text{L}^{-1}.\text{t}^{-1}$ Produktivitas basah dihitung

untuk mengetahui kemampuan tumbuh hidromakrofita yang digunakan pada perlakuan bioremediasi.

3.8 Analisis Data

Data pengukuran faktor abiotik dianalisis menggunakan *Microsoft Excel 2007* untuk mengetahui perubahannya antara waktu pengamatan. Data hasil kelimpahan *Microcystis* dihitung menggunakan *Microsoft Excel* untuk mengetahui penurunannya dari waktu ke waktu pada semua perlakuan dan kontrol. *Carrying capacity* (K) dan laju pertumbuhan (g) *Microcystis* dianalisis menggunakan software program *SPSS for Windows Release* versi 16.0 uji ANOVA (*Analysis of Variance*) yang kemudian dilanjutkan dengan uji Tukey HSD ($\alpha=0,05$). Data hasil penurunan nitrat-fosfat diuji menggunakan uji ANOVA kemudian dilanjutkan dengan uji t-test untuk mengetahui penurunannya dari hari ke-0 dan ke-6, hari ke-0 dan ke-12 dan hari ke-0 dan ke-15. Produktivitas makrofita dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* untuk mengetahui perlakuan mana yang produktivitasnya paling tinggi.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



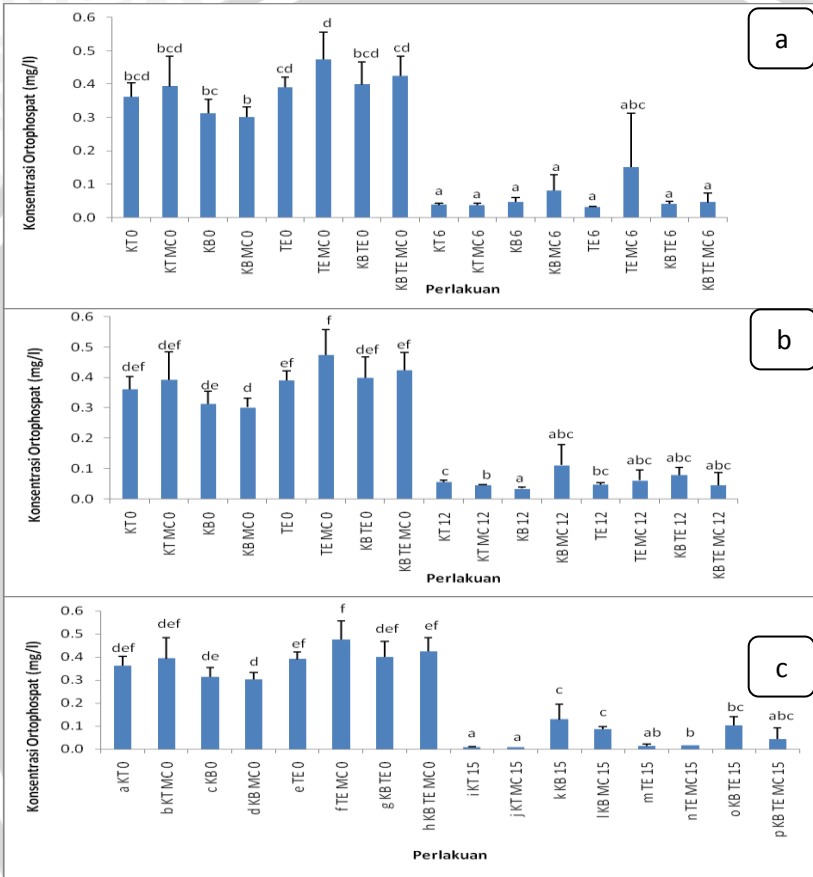
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penurunan Konsentrasi Fosfat dan Nitrat pada Perlakuan Bioremediasi

Kombinasi hidromakrofit (*Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*) dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat yang digunakan dalam penelitian ini secara umum mampu memanfaatkan fosfat di media. Hal ini dibuktikan bahwa kombinasi tersebut dengan dan tanpa tambahan *Microcystis* mampu menurunkan konsentrasi Ortofosfat lebih dari 88 % setelah enam hari inkubasi. Perlakuan kombinasi *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* tanpa pemberian konsorsium bakteri pereduksi nitrat dengan atau tanpa tambahan *Microcystis* mampu menurunkan presentase Ortofosfat lebih dari 85 % (Lampiran 1). Penambahan nitrat dan fosfat pada semua media perlakuan dan kontrol dilakukan karena dengan konsentrasi yang digunakan merupakan konsentrasi dimana sel *Microcystis* dapat tumbuh dan berkembang. Kontrol dan perlakuan pemberian konsorsium bakteri saja hanya mampu menurunkan konsentrasi Ortofosfat kurang lebih sebanyak 70 % (Lampiran 1). Perbedaan kemampuan ini dapat disebabkan penambahan konsorsium bakteri yang digunakan merupakan konsorsium bakteri pereduksi nitrat.

Hubungan penurunan kandungan Ortofosfat pada hari ke-0 dan hari ke-6 dapat dilihat pada Gambar 3 (a), hari ke-0 dan ke-12 pada Gambar 3 (b), hari ke-0 dan ke-15 pada gambar 3 (c) yang merupakan hasil uji t-test. Hubungan penurunan Ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-6 terjadi sangat signifikan dilihat dari berbedanya notasi huruf di atas subset yang berbeda antara perlakuan dan kontrol pada hari ke-0 dengan perlakuan dan kontrol pada hari ke-6 (Gambar 3a). Perlakuan dan kontrol pada hari ke-0 dan ke-12 (Gambar 3b) serta hari ke-0 dan ke-15 (Gambar 3c) juga terjadi penurunan secara signifikan pada semua perlakuan dan kontrol. *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* mampu memanfaatkan orthofosfat pada media perlakuan. Kandungan ortofosfat yang diukur dari hari ke-0 hingga hari ke-15 mengalami penurunan secara signifikan dan pada hari terakhir pengamatan (hari ke-15) kandungan ortofosfat dimanfaatkan langsung oleh *T. angustifolia*, *E. ramosissium*, konsorsium bakteri dan *Microcystis* untuk pertumbuhannya. Unsur P merupakan nutrisi penting bagi pertumbuhan alga. Tingginya

ketersediaan fosfor berbanding lurus dengan tingginya laju pertumbuhan alga. Pada media perairan fosfor umumnya berada dalam bentuk fosfat. Senyawa fosfat bersifat larut dalam air sehingga secara langsung dapat dimanfaatkan oleh organisme (Hidayat, 2008).



Gambar 3. Hubungan penurunan ortofosfat pada hari ke-0 dan ke-6 (a), hari ke-0 dan ke-12 (b) dan hari ke-0 dan ke-15 (c)

Keterangan :

KT : Kontrol ; Mc : *Microcystis* ; KB : Konsorsium Bakteri Reduksi Nitrat ; TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* (0 = hari ke-0 ; 6 = hari ke-6 ; 12 = hari ke-12 ; 15 = hari ke-15)

Notasi yang sama pada tiap-tiap gambar menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji t α 0,05

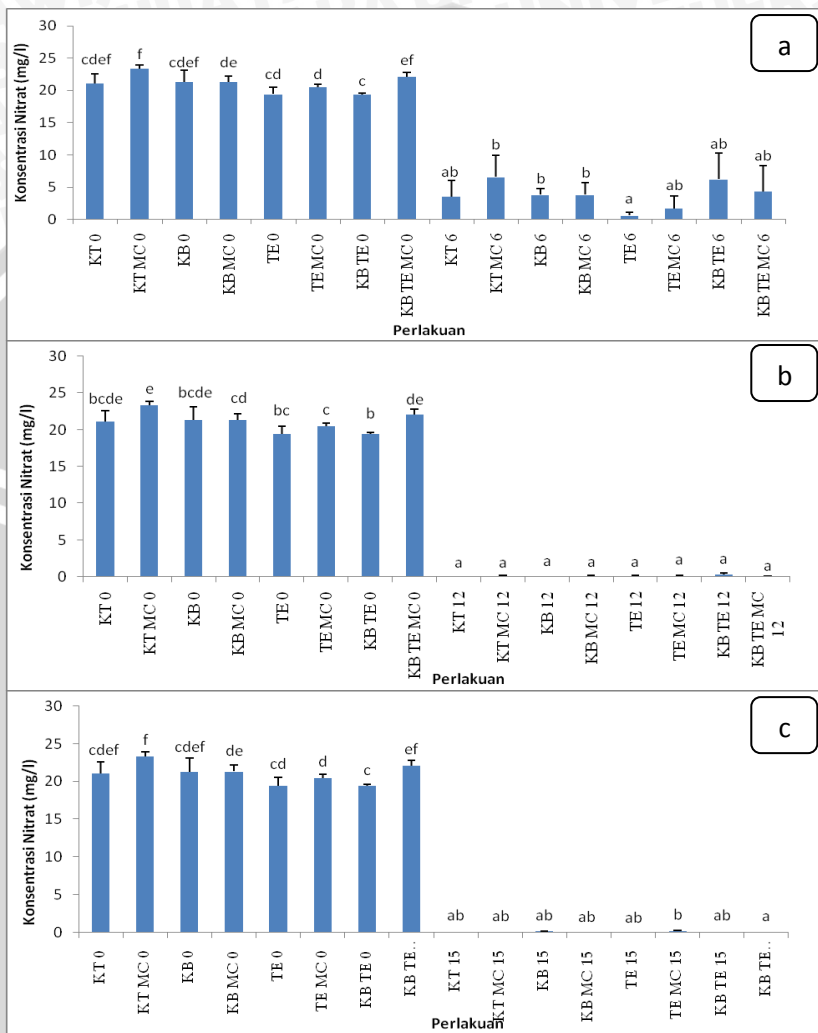
Pengikatan nitrogen bagi organisme di dukung oleh adanya fosfor. Jika kandungan fosfor mencukupi maka peningkatan konsentrasi nitrat akan memicu pertumbuhan hidromakrofit untuk tumbuh. Jika ketersediaan fosfor tidak ada (habis) maka hidromakrofit lain tidak akan bisa tumbuh meskipun nutrisi yang lain ada dan tersedia melimpah. Senyawa ini biasa digunakan sebagai penyubur tanah. Irigasi di pertanian membawa senyawa fosfat dari area pertanian ke perairan. Fosfor dalam ekosistem perairan ada dalam tiga bentuk, yaitu senyawa fosfor anorganik contohnya nitrat, senyawa organik dalam protoplasma dan senyawa organik terlarut yang terbentuk karena kotoran atau tubuh organisme yang mengurai. Fosfat anorganik terlarut biasanya terkandung dalam air. Fosfat akan diabsorpsi oleh fitoplankton dan hidromakrofit dan membentuk senyawa misalnya ATP (Hidayat, 2008).

Persentase penurunan konsentrasi nitrat pada semua perlakuan cukup tinggi yaitu > 80 % yang terjadi pada pengamatan hari ke-6. Perlakuan kombinasi *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* tanpa tambahan *Microcystis* dapat menurunkan konsentrasi nitrat sebesar 85,8 persen. Sedangkan perlakuan dengan *Microcystis* terjadi penurunan sebesar 83,4 persen. Jika dibandingkan dengan kombinasi *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri dengan tambahan *Microcystis* dapat menurunkan konsentrasi nitrat sebesar 80,40 % (Lampiran 1). Perbedaan penurunan konsentrasi nitrat pada kombinasi makrofit tanpa konsorsium bakteri dan makrofit tanpa *Microcystis* menunjukkan bahwa pemanfaatan nitrat terlarut pada media oleh makrofit cukup tinggi. Nitrat merupakan salah satu bentuk nitrogen yang berada di alam. Nitrogen organik di lingkungan dapat berupa humus dan dalam produk dekomposisi bahan organik. Tanaman mendapatkan nitrogen dari tanah melalui absorpsi akar, baik dalam bentuk ion nitrat ataupun ion ammonium. Nitrat yang diserap direduksi menjadi ion nitrit dan kemudian ammonium dimasukkan ke dalam asam amino, asam nukleat dan klorofil. Nitrogen yang tersedia tidak hanya dimanfaatkan oleh makrofit dalam perlakuan. *Microcystis* yang ditambahkan juga memanfaatkan nitrogen untuk pertumbuhannya. Mikroorganisme yang melakukan fiksasi nitrogen antara lain *Cyanobacteria*, *Azotobacteraceae*, *Rhizobia*, *Clostridium* dan *Frankia* serta ganggang biru hijau. Proses denitrifikasi merupakan reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen untuk menyelesaikan siklus nitrogen. Proses ini biasanya

dilakukan oleh beberapa jenis spesies bakteri. Konsorsium bakteri pereduksi nitrat yang ditambahkan menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron di tempat oksigen selama respirasi. Presentase penurunan yang tinggi pada kontrol diduga karena tumbuhnya alga lain yang mulai tumbuh pada hari ketiga. Alga ini tumbuh menutupi lebih dari setengah permukaan air di media. Alga yang tumbuh berdasarkan morfologinya diduga merupakan jenis *Cladophora*. Alga jenis ini merupakan lumut yang digunakan sebagai biomonitoring unsur-unsur bahan kimia (Zbikowski dkk., 2007).

Hubungan penurunan kandungan nitrat pada hari ke-0 dan hari ke-6 dapat dilihat pada Gambar 4(a), hari ke-0 dan ke-12 pada Gambar 4(b), hari ke-0 dan ke-15 pada gambar 4(c) yang merupakan hasil uji ANOVA dan dilanjutkan dengan t-test. Penurunan nitrat pada hari ke-0 dan ke-6 terjadi sangat signifikan dilihat dari berbedanya notasi huruf di atas subset yang berbeda antara perlakuan dan kontrol pada hari ke-0 dengan perlakuan dan kontrol pada hari ke-6 (a). Perlakuan dan kontrol pada hari ke-0 dan ke-12 (b) serta hari ke-0 dan ke-15 (c) juga terjadi penurunan secara signifikan pada semua perlakuan dan kontrol.

Hasil pengukuran konsentrasi nitrat pada perlakuan *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* di media pertumbuhan menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat dari hari ke-0 sampai hari terakhir pengamatan (hari ke-15) mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* mampu memanfaatkan nitrat pada media perlakuan untuk pertumbuhannya. Kandungan nitrat yang diukur dari hari ke-0 hingga hari ke-15 mengalami penurunan secara signifikan dan pada hari terakhir pengamatan (hari ke-15) kandungan nitrat pada media perlakuan tidak habis (bernilai 0) yang dapat dilihat dari garis polinomial yang kembali naik pada hari ke-15 yang terjadi pada perlakuan dengan tambahan sel *Microcystis* dan tanpa tambahan sel *Microcystis* (Lampiran 3). Hal ini menunjukkan bahwa senyawa nitrat dimanfaatkan langsung oleh *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium*, konsorsium bakteri dan *Microcystis* untuk pertumbuhannya.



Gambar 4. Hubungan penurunan nitrat pada hari ke-0 dan ke-6 (a), hari ke-0 dan ke-12 (b) dan hari ke-0 dan ke-15 (c)

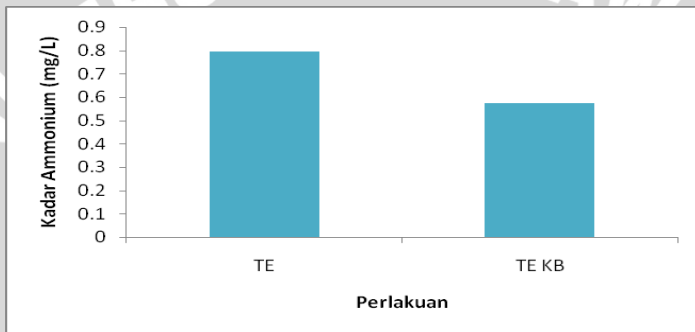
Keterangan : KT : Kontrol ; Mc : *Microcystis* ; KB : Konsorsium Bakteri Reduksi Nitrat ; TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* (0 = hari ke-0 ; 6 = hari ke-6 ; 12 = hari ke-12 ; 15 = hari ke-15)

Notasi yang sama pada tiap-tiap gambar menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji t α 0,05

Salah satu elemen utama yang dibutuhkan makhluk hidup untuk bertahan hidup adalah nitrogen yang keberadaannya sangat berlimpah di atmosfer. Molekul nitrogen (N_2) harus dikonversikan dulu ke dalam bentuk ammonium, nitrat atau dalam beberapa bentuk organik sebelum dimanfaatkan oleh makhluk hidup. Nitrat merupakan senyawa nitrogen stabil yang merupakan salah satu unsur penting untuk sintesis protein pada tumbuhan (Brower dkk., 1990). Kandungan nitrat yang tinggi dapat menyebabkan *blooming* alga jika beberapa syarat lain misalnya konsentrasi fosfat untuk menyebabkan *blooming* algae tertentu sesuai (Soeprbowati dan Hadisusanto, 2009). Setiap *blooming* alga mempunyai rasio kandungan nitrat dan fosfat berbeda-beda. Pemanfaatan nitrat dipengaruhi oleh konsentrasi fosfat di media. Hal ini sesuai dengan data nitrat dan fosfat yang mana penurunan konsentrasi nitrat di media dimanfaatkan oleh hidromakrofit untuk pertumbuhannya. Penurunan konsentrasi nitrat pada setiap perlakuan menunjukkan bahwa hidromakrofit dan konsorsium bakteri yang diberikan mampu mereduksi kandungan nitrat pada media. Pada tumbuhan, nitrogen digunakan dalam molekul klorofil yang penting pada proses fotosintesis dan pertumbuhan lebih lanjut. Perbandingan penyerapan nutrisi oleh makhluk hidup antara senyawa nitrogen dan fosfor yaitu 16:1 yang berarti jika kandungan fosfor tinggi tidak diikuti dengan konsentrasi nitrat (nitrogen terlarut) yang tinggi pula maka senyawa fosfor tersebut tidak dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan bakteri dan hidromakrofit yang digunakan pada penelitian (Heylen dkk., 2006).

Siklus nitrogen merupakan suatu proses konversi senyawa yang mengandung unsur nitrogen menjadi berbagai macam bentuk kimiawi yang lain. Nitrogen adalah komponen utama dalam semua asam amino. Nitrat adalah bentuk utama dari nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil, sedangkan nitrit biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit di perairan karena bersifat tidak stabil terhadap keberadaan oksigen. Senyawa nitrat dapat dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Effendi, 2003). Nitrat juga merupakan zat hara penting bagi organisme ototrof dan diketahui sebagai faktor pembatas pertumbuhan. Konsentrasi nitrat di perairan alami hampir tidak pernah lebih dari 0,1 mg/liter. Konsentrasi nitrat yang lebih dari 5 mg/L menggambarkan terjadinya pencemaran

antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia. Pada perairan yang menerima limpasan dari daerah pertanian yang banyak mengandung pupuk, konsentrasi nitrat dapat mencapai 1.000 mg/L. Konsentrasi nitrit di perairan relatif sedikit karena segera dioksidasi menjadi nitrat. Sumber nitrogen yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan adalah nitrat dan ammonium yang merupakan sumber utama nitrogen di perairan. Konsentrasi nitrat di perairan tidak tercemar biasanya lebih tinggi daripada konsentrasi ammonium (Eaton dkk., 1995).

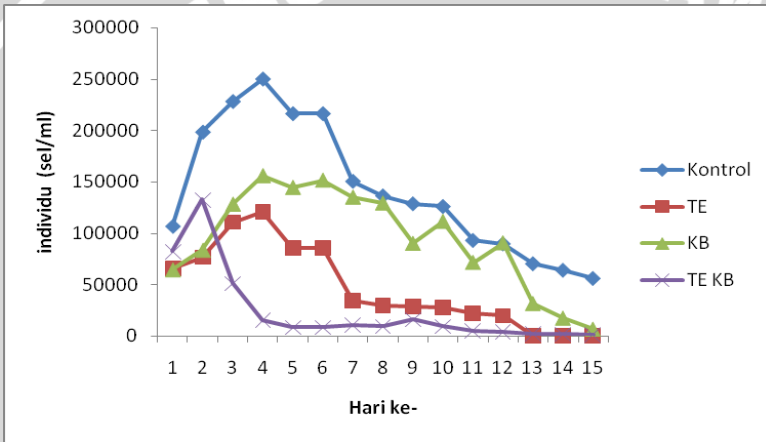


Gambar 5. Konsentrasi ammonium setelah perlakuan bioremediasi
Keterangan : TE = *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* ; KB = konsosium bakteri

Ammonium di perairan bersumber dari pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik (tumbuhan dan biota perairan yang telah mati) oleh mikroorganisme jamur (proses amonifikasi). Ammonium jarang ditemukan pada perairan yang mendapat cukup pasokan oksigen. Konsentrasi ammonium di perairan alami biasanya tidak lebih dari 0,1 mg/liter. Ammonium banyak digunakan dalam proses produksi urea, industri bahan kimia, serta industri bubur kertas. Konsentrasi ammonium yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpahan pupuk (*run off*) pupuk pertanian (Effendi 2003).

4.2 Respon Pertumbuhan *Microcystis* terhadap Variasi Perlakuan

Kelimpahan *Microcystis* menurun paling cepat pada pemberian perlakuan kombinasi *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan konsorsium bakteri. Penurunan kelimpahan *Microcystis* terjadi pada pengamatan hari ketiga dan terus berlanjut pada hari berikutnya sampai dengan hari ke-15. Perlakuan *T. angustifolia* dan *E. ramosissium*, penurunan kelimpahan *Microcystis* terjadi pada hari keempat sedangkan pada perlakuan kombinasi antara *T. angustifolia*, *E. ramosissium* dan konsorsium bakteri lebih cepat terjadi yaitu pada hari ketiga.



Gambar 6. Pola pertumbuhan *Microcystis* yang diamati selama 15 hari

Keterangan :

TE = *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*

KB = Konsorsium Bakteri

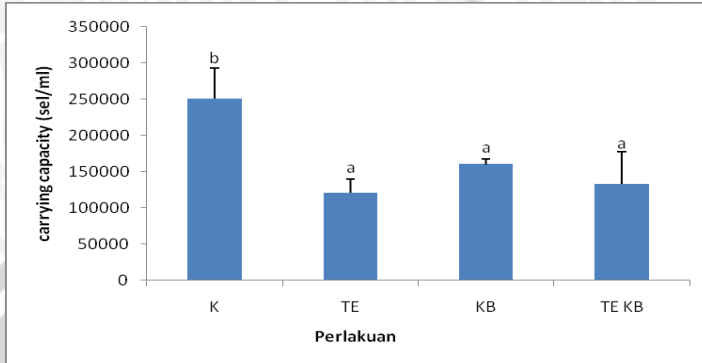
TE KB = *Typha angustifolia*, *Equisetum ramosissium* dan Konsorsium Bakteri

Penurunan konsentrasi nitrat terjadi karena adanya tambahan bakteri pereduksi nitrat dan berkurangnya cahaya matahari yang masuk ke dalam air karena adanya *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* sehingga proses fotosintesis pada sel *Microcystis* terganggu. Selain itu adanya lumut yang tumbuh di dalam perlakuan juga diasumsikan menjadi kompetitor dalam mendapatkan nutrisi di perairan. Penambahan konsorsium bakteri pada perlakuan kombinasi *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* mampu menghambat pertumbuhan laju pertumbuhan *Microcystis* pada media alami air Waduk Sutami yang diberi tambahan konsentrasi nitrat dan fosfat

serta sel *Microcystis*. Penurunan kelimpahan *Microcystis* secara signifikan terjadi pada hari ketiga dan terus menurun hingga hari ke-15. Penurunan yang terjadi diduga karena kombinasi hidromakrofit dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat yang digunakan mampu dengan cepat mereduksi kandungan nitrat pada media yang digunakan. Ketersediaan nutrisi pada media pertumbuhan dan lamanya waktu inkubasi memengaruhi aktivitas sel suatu bakteri yang mana jika kandungan nutrisi pada media tinggi maka aktivitas sel yang berlangsung juga tinggi, tetapi jika nutrisi yang tersedia dalam media pertumbuhan rendah, maka aktivitas selnya juga rendah. Salah satu nutrisi yang dapat dimanfaatkan bakteri untuk tumbuh yaitu adanya kandungan nitrat. Bakteri pereduksi nitrat memanfaatkan kandungan nitrat pada media tumbuhnya sebagai pertumbuhan sel-selnya (Takaya,dkk.,2003).

Penurunan *Microcystis* diikuti oleh penurunan konsentrasi nitrat di media yang diduga sebagai hasil aktivitas konsorsium bakteri pereduksi nitrat sehingga penurunan konsentrasi ini yang dapat menekan pertumbuhan *Microcystis*. Perlakuan tanpa pemberian konsorsium bakteri pereduksi nitrat (hanya kombinasi *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*), penurunan kelimpahan *Microcystis* diduga karena adanya kompetisi nutrisi antara *Microcystis* dengan hidromakrofit yang digunakan dalam hal pemanfaatan nitrat dan fosfat di media sebagai nutrisi untuk tumbuh. Selain itu adanya penutupan permukaan air secara tidak langsung oleh hidromakrofit menghalangi masuknya cahaya matahari yang digunakan sel *Microcystis* dalam melakukan fotosintesis.

Carrying capacity (K) merupakan populasi maksimal suatu spesies di lingkungan yang dapat menyediakan nutrisi untuk bertahan hidup, habitat, air dan kebutuhan lain untuk hidup (Hui, 2006). *Carrying capacity* kelimpahan sel *Microcystis* pada perlakuan dan kontrol dapat dilihat pada Gambar 7. Kelimpahan sel *Microcystis* paling banyak diketahui pada kontrol. Perlakuan *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* memiliki kelimpahan paling rendah dibanding dengan perlakuan yang lain. Perlakuan kombinasi dengan penambahan konsorsium bakteri memiliki kelimpahan lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan konsorsium bakteri saja (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* mampu menghambat pertumbuhan sel *Microcystis* yang berada di media.



Gambar 7. Carrying capacity sel *Microcystis*

Keterangan

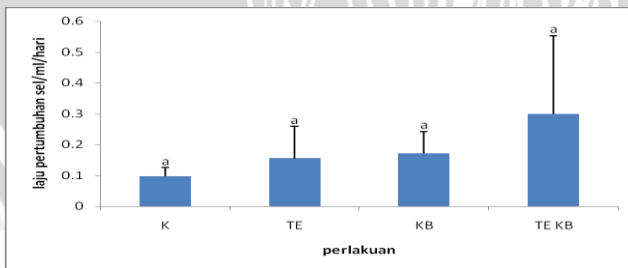
KT : Kontrol

TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*

KB : Konsorsium bakteri pereduksi nitrat

Huruf yang sama di atas subset menunjukkan tidak berbeda nyata antara kelimpahan sel *Microcystis* antar perlakuan yang dianalisis menggunakan ANOVA dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)

Kontrol dan perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh secara nyata terhadap laju pertumbuhan sel *Microcystis*. Laju pertumbuhan paling rendah terjadi pada kontrol. Pada perlakuan konsorsium bakteri dan hidromakrofitanya sendiri menunjukkan laju pertumbuhan yang hampir sama. Perlakuan kombinasi hidromakrofitanya dengan konsorsium bakteri memiliki laju pertumbuhan paling tinggi. Hal ini dapat dilihat pula pada Gambar 6 mengenai pola pertumbuhan *Microcystis*.



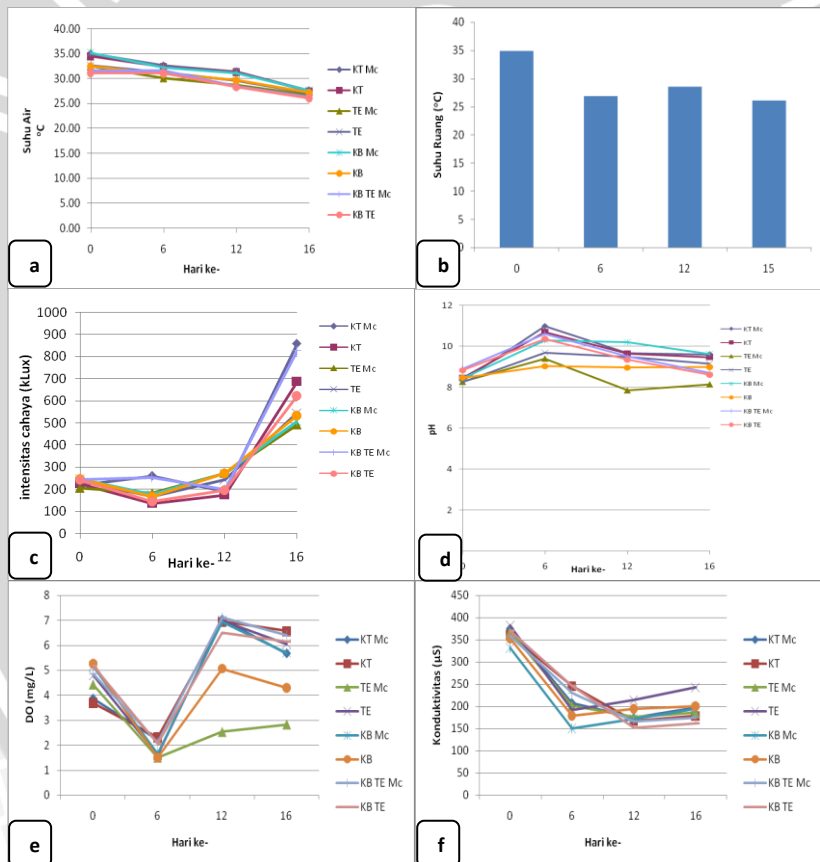
Gambar 8. Laju pertumbuhan *Microcystis* pada perlakuan dan kontrol

Keterangan :

KT : Kontrol ; TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* ; KB : Konsorsium bakteri pereduksi nitrat

Huruf yang sama diatas subset menunjukkan tidak berbeda nyata hubungan antara kelimpahan sel *Microcystis* antar perlakuan yang dianalisis menggunakan ANOVA $p > 0.05$

Dinamika populasi pertumbuhan *Microcystis* sangat dipengaruhi oleh kualitas air sebagai habitat hidupnya. Kualitas air yang diukur pada tiap perlakuan dan kontrol dapat dilihat pada Gambar 9. Salah satu penyebab terjadinya *blooming* Cyanobacteria yaitu suhu perairan yang tinggi (25° - 30° C) merupakan suhu optimal bagi pertumbuhan Cyanobacteria.



Gambar 9. Hasil pengukuran faktor abiotik pada hari ke-0, 6, 12, dan 15.

Keterangan :

1. Mc : *Microcystis* ; KT : Kontrol ; TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* ; KB : Konsorsium bakteri pereduksi nitra^T.
2. a. suhu air ; b. suhu ruang ; c. intensitas cahaya ; d. pH ; e. DO ; f. Konduktivitas

Hasil pengamatan parameter suhu pada hari ke-0, 6, 12 dan 15 mengalami penurunan pada semua perlakuan dan kontrol. Tetapi penurunan suhu masih tetap dalam rentang waktu optimal untuk pertumbuhan *Microcystis* yaitu 25-30 °C. Pengukuran parameter suhu dilakukan pada siang hari sekitar jam 12.00-14.00. Suhu berperan sebagai pengatur proses metabolisme dan fungsi fisiologis organisme. Suhu bukan merupakan faktor pembatas pada alga alami selama banyak genus mampu tumbuh pada kondisi lingkungan lain yang sesuai. Namun suhu sangat berpengaruh terhadap percepatan atau perlambatan pertumbuhan dan reproduksi alga. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi. Suhu juga sangat berperan dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Suhu merupakan faktor yang penting bagi kehidupan organisme di perairan, karena suhu dapat mempengaruhi metabolisme maupun perkembangbiakan dari organisme. Organisme akuatik memiliki kisaran suhu tertentu yang baik bagi pertumbuhannya. Alga dari filum Chlorophyta dan diatom akan tumbuh baik pada kisaran suhu berturut-turut 30 °C-35 °C dan 20 °C-30 °C, dan filum Cyanophyta dapat bertoleransi terhadap kisaran suhu yang lebih tinggi (di atas 30 °C) dibandingkan kisaran suhu pada filum Chlorophyta dan diatom (Welch, 1980).

Hasil dari pengukuran intensitas cahaya yang diukur, menunjukkan bahwa kontrol dan perlakuan tanpa pemberian hidromakrofit mengalami kenaikan nilai intensitas cahaya sedangkan pada perlakuan dengan pemberian hidromakrofit nilai intensitas cahayanya semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa adanya hidromakrofit secara tidak langsung dapat menghambat pertumbuhan *Microcystis* dengan menghalangi cahaya matahari sebagai salah satu faktor terjadinya fotosintesis pada *Microcystis*. Cahaya yang berasal dari matahari penting untuk kehidupan makhluk hidup, hampir semua energi yang menggerakkan dan mengontrol metabolisme di perairan berasal dari energi matahari yang dikonversi secara biokimia melalui proses fotosintesis menjadi energi kimia

potensial. Laju fotosintesis akan tinggi bila intensitas cahaya tinggi dan menurun bila intensitas cahaya berkurang, oleh karena itu cahaya berperan sebagai faktor pembatas utama dalam fotosintesis atau produktivitas primer yang dilakukan oleh fitoplankton. Dalam rantai makanan di perairan, kehidupan fitoplankton dipengaruhi oleh biota air lainnya seperti zooplankton (Manurung, 1992). Fotosintesis merupakan proses yang memanfaatkan CO_2 bebas atau ion bikarbonat (HCO_3^-) yang digunakan sebagai sumber karbon. Pemanfaatan sumber karbon dipengaruhi oleh tingginya intensitas cahaya yang membuat laju pertumbuhan yang cepat pada hidromakrofita. Hidromakrofita yang tumbuh dengan cepat banyak memanfaatkan karbondioksida. Adanya oksigen terlarut di perairan karena adanya hasil aktivitas fotosintesis mikroalga perairan atau hidromakrofita atau dapat juga berasal langsung dari udara. Nilai konduktivitas terjadi penurunan pada hari ke-0 dan ke-6. Konduktivitas di perairan merupakan kemampuan media air tersebut dalam menghantarkan energi listrik. Nilai konduktivitas yang semakin tinggi menandakan semakin tinggi pula kandungan ion-ion terlarut didalam suatu perairan (Effendi, 2003). Kandungan ion-ion didalam media perlakuan adalah nitrat dan fosfat yang terlarut dalam air.

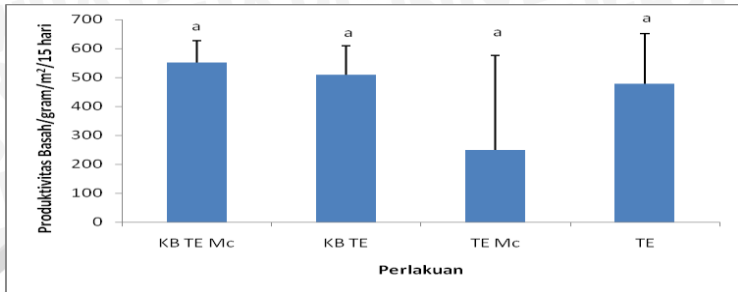
Nilai pH pada semua perlakuan dan kontrol relatif tinggi yaitu lebih dari 8 kecuali pada perlakuan *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* dengan penambahan *Microcystis* yang nilai pHnya menurun pada hari keenam (gambar 9d). Batas toleransi organisme terhadap pH bervariasi tergantung pada suhu, oksigen terlarut, dan kandungan garam-garam ionik suatu perairan. Kebanyakan perairan alami memiliki pH berkisar antara 6-9. Sebagian besar biota perairan sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-8,5 (Effendi, 2003). Nilai pH sangat menentukan dominansi fitoplankton. Pada umumnya alga biru lebih menyukai pH netral sampai basa dan respon pertumbuhan negatif terhadap asam ($\text{pH} < 6$), Chrysophyta umumnya pada kisaran pH 4,5-8,5, dan pada umumnya diatom pada kisaran pH yang netral akan mendukung keanekaragaman jenisnya (Weitzel, 1979).

Nilai DO (*dissolved oxygen*) pada semua perlakuan dan kontrol mengalami penurunan pada hari ke-0 dan mengalami kenaikan pada hari ke-6. Oksigen terlarut (DO) merupakan salah satu unsur pokok pada proses metabolisme organisme, terutama untuk proses respirasi.

Disamping itu juga dapat digunakan sebagai petunjuk kualitas air (Odum, 1971). Pada umumnya oksigen terlarut berasal dari difusi oksigen dari udara ke dalam air dan proses fotosintesis dari tumbuhan hijau. Pengurangan oksigen terlarut disebabkan oleh proses respirasi dan penguraian bahan-bahan organik. Berkurangnya oksigen terlarut berkaitan dengan banyaknya bahan-bahan organik dari limbah industri yang mengandung bahan-bahan yang tereduksi dan lainnya (Welch, 1952). Sistem perairan mengalir umumnya mempunyai kandungan oksigen terlarut yang tinggi dan kandungan karbondioksida bebas yang rendah. Hal ini disebabkan oleh peran arus yang membantu dalam memberikan sumbangan oksigen (Hynes, 1972). Di perairan tawar, kandungan oksigen terlarut berkisar antara 8 mg/liter pada suhu 25 °C. Konsentrasi oksigen terlarut di perairan alami biasanya kurang dari 10 mg/liter (Welch, 1952).

4.3 Produktivitas *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium* terhadap Perlakuan Bioremediasi

Produktivitas basah dari masing-masing perlakuan yang menggunakan hidromakrofit dapat dilihat pada gambar 10 Perlakuan kombinasi hidromakrofit dengan penambahan bakteri mempunyai produktivitas paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa konsorsium bakteri pereduksi nitrat yang diberikan dapat berasosiasi dengan *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* dalam memanfaatkan nitrat pada media sebagai nutrisi pertumbuhannya. Kandungan nitrat yang dimanfaatkan oleh tumbuhan dipengaruhi pula oleh konsentrasi fosfat di media. Konsentrasi nitrat dan fosfat pada media tidak hanya ada karena diberikan secara sengaja melainkan konsentrasi nitrat dan fosfat sudah ada pada tanah dan air waduk Sutami yang digunakan sebagai media. Tanah sawah yang digunakan diasumsikan mengandung nitrat dan fosfat yang cukup tinggi sehingga pemberian tambahan konsentrasi nitrat dan fosfat dilakukan untuk menyamakan konsentrasi nitrat dan fosfat untuk semua perlakuan.



Gambar 10. Hasil penghitungan produktivitas basah dari empat perlakuan dengan hidromakrofita

Keterangan :

Mc : *Microcystis*

KT : Kontrol

TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissimum*

KB : Konsorsium bakteri pereduksi nitrat

Berat basah merupakan total berat tanaman yang menunjukkan hasil aktivitas metabolik tanaman. Hasil uji ANOVA dengan taraf kepercayaan 95 % pada penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan pengaruhnya tidak berbeda signifikan secara nyata terhadap produktivitas basah. Air yang tersedia dalam tanah akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan tanaman akan semakin baik dengan pertambahan jumlah air, akan tetapi terdapat batasan maksimum dan minimum dalam jumlah penyerapan air oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Pertumbuhan juga bergantung pada interaksi antara sel dengan lingkungannya. Absorpsi air pada tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu perbedaan potensial air dari tanah ke akar, dari akar ke bagian atas tumbuhan dan adanya hambatan pergerakan air di dalam tanah dan tanaman.

Pada dasarnya makin luas daerah perakaran, tanaman makin efektif menggunakan air tanah. Tekstur dan struktur tanah juga mempengaruhi absorpsi air karena berpengaruh terhadap hambatan pergerakan air pada waktu air bergerak dari tanah ke permukaan akar. Air sangat berperan penting terhadap pertumbuhan tanaman, akan tetapi air juga dapat membatasi pertumbuhan. Jika jumlah air terlalu banyak akan menimbulkan cekaman kekeringan. Tanaman yang mengalami cekaman air stomata daunnya menutup sebagai akibat menurunnya turgor sel daun sehingga mengurangi jumlah CO₂ yang berdifusi ke dalam daun. Selain itu, dengan menutupnya

stomata laju transpirasi menurun. Menurunnya laju transpirasi akan mengurangi suplai unsur hara dari tanah ke tanaman, sedangkan sebagian besar unsur hara masuk ke dalam tanaman bersama-sama dengan aliran air. Proses yang sensitif terhadap kekurangan air adalah pembelahan sel. Hal ini dapat diartikan bahwa pertumbuhan tanaman sangat peka terhadap defisit (cekaman) air karena berhubungan dengan turgor dan hilangnya turgitas dapat menghentikan pembelahan dan pembesaran sel yang mengakibatkan tanaman lebih kecil (Anh dkk., 2010).

T. angustifolia memiliki akar rimpang yang berdaging cukup tebal (gambar 11a). Akar pada *T. angustifolia* mengandung air lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tubuh yang lainnya sehingga pada waktu pengeringan dengan menggunakan oven bagian akar dipisahkan terlebih dahulu. *E. ramosissium* mempunyai akar serabut yang dapat dilihat pada gambar 11b.



Gambar 11. Akar dari *Typha* (a) dan *Equisetum* (b)

Batang *Equisetum* berongga pada bagian tengahnya. Pengeringan yang dilakukan pada tanaman ini juga dipisahkan antara batang dan bagian tubuh lainnya. Kemampuan gabungan antara *E. ramosissium* dan *T. angustifolia* dalam mereduksi nitrat dan fosfat dapat dikatakan sangat baik. Selain itu pemberian tambahan konsorsium bakteri pereduksi nitrat pada perlakuan berkorelasi positif dengan hidromakrofit yang digunakan sehingga dapat mendukung dalam mengurangi bahan organik yang berlebih khususnya nitrat dan fosfat di perairan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perlakuan kombinasi *E. ramosissium*, *T. angustifolia* dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat dapat mereduksi nitrat 80,40 %, fosfat 89,8 %. Penurunan konsentrasi nitrat-fosfat mulai terjadi pada pengamatan hari keenam.
2. Perlakuan kombinasi *E. ramosissium*, *T. angustifolia* dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat pada teknik bioremediasi mampu menurunkan kelimpahan sel *Microcystis* sebanyak 37,9 % pada pengamatan hari ketiga dan terus berlanjut sampai 99 % pada akhir perlakuan (hari ke-15).
3. Perlakuan kombinasi *E. ramosissium*, *T. angustifolia* dan konsorsium bakteri pereduksi nitrat menunjukkan produktivitas yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu pemanfaatan hidromakrofit ini sebaiknya di uji secara langsung di lapangan sehingga benar-benar diketahui kemampuan bioremediasinya di alam.

Agar diketahui perbedaan konsentrasi ammonium karena adanya penambahan konsorsium bakteri sebaiknya pengukuran konsentrasi ammonium dilakukan pada awal dan akhir perlakuan.

Kombinasi hidromakrofit ini dapat digunakan sebagai agen bioremediator pencemaran nitrat-fosfat di perairan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Daftar Pustaka

- Anh, Kim, Tua, Kien, Tuan. 2010. Phytoremediation potential of indigenous plants from Thai Nguyen province Vietnam. *J Environ Biol* : 32 (257-262)
- Bareen, Firdaus-e dan Sheza, Khilji. 2008. Bioaccumulation of metals from tannery sludge by *Typha angustifolia* L. *African Journal of Biotechnology* : 7(18).
- Barnes RSK dan Mann KH.1991. Fundamental of Aquatic Ecology. *Blackwell Science*. London. 270 halaman
- Basmi, J. 1999. *Planktonologi: Chrysophyta-Diatom, Penuntun Identifikasi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Brower, J. E. dan J. H. Zar. 1990. *Field and Laboratory Method from General Ecology*. 3rd ed. Wm. C. Brown Publishers. Dubuque. Iowa.
- Cebron, A., T. Berthe and J. Garnier. 2003. Nitrification and nitrifying Bacteria in the Lower Seine River and Estuary (France). *Appl.Environmental.Microbiol.*69(12):7091-7100
- Closs, G., Downes. B & Boulton. A. 2006. *A Scientific Introductory Freshwater Ecology*. Blackwell Publishing. Malden USA.
- Crites, R., dan Tchobanoglous, G., 1998. *Small and Desentralized Wastewater Management Systems*, McGraw-Hill. Singapore.
- Damanik, M.M.B., Bachtiar, E.H., Fauzi, Sarifuddin dan Hamidah, H. 2010. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. USU Press. Medan
- Dinas InfokomJatim.2008. *Elevasi Waduk Sutami Siaga*. <http://www.jatimprov.go.id/index2>, diakses pada 27 Mei 2011
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., dan Greenberg, A. E. 1995. *APHA (American Public Health Association): Standard Method for The Examination of Water and Wastewater 19th ed., AWWA (American Water Works Association), and WPCF (Water Pollution Control Federation)*. Washington D. C.
- Effendi, Hefni.2003. *Telaah Kualitas Air*. Kanisius: Yogyakarta
- Effendi, M.I. 1979. *Metoda Biologi Perikanan*. Yayasan Dewi Sri:Bogor.
- Ferrao-Fiiho, A. S., P. Domingos & S. M. F. O. Azevedo. 2002. Influences of a *Microcystis aeruginosa* Kutzing Bloom on

- Zooplankton Populations in Jacarepagua Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil). *Limnologica*, 32:295-308.
- Fujimoto N, Sudo R. 1997. Nutrient-limited growth of *Microcystis aeruginosa* and *Phormidin tenue* and competition under various N:P supply ratios and competition under various N:P supply ratios and temperature. *Limnol. Oceanogr.*, 1997;42(2):250-256
- Hardjadi, S.S. 2008. Pengantar Agronomi. PT. Gramedia. Jakarta
- Heylen, K., B. Vanprays, L. Wittebole, W. Verstrete, N. Bon and P. De Vos. 2006. Cultivation of Denitrifying Bacteria: Optimization of Isolation Conditions and Diversity Study. *Appl. Environ. Microbiol.* 72(4): 2637-2643.
- Hidayat, P. 2008. *Pengolahan Limbah Perairan*. Kanisius. Yogyakarta
- Hui, C. 2006. Carrying capacity, population equilibrium and environment's maximal load. *Ecological Modelling*. 192 (317-320). <http://dx.doi.org/ecomodel.2005.07.001>. Tanggal akses 27 Mei 2011.
- Hynes, H. B. N. 1972. *The Ecology of Running Water*. University of Toronto Press. Toronto.
- Jasa Tirta. 2007. *Bendungan Sutami*. http://www.jasatirta1.go.id/haspem.php?subaction=showfull&id=1191737150&archive=&start_from=&ucat=5&. Tanggal akses 27 Mei 2011.
- Kartesz, John T. 2011. *Plants Profile*. <http://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=profile&symbol=TYGL&display=31>, diakses pada 27 Mei 2011
- Klein, L. 1972. *River Pollution*. Butterworths. London.
- Li, Y. 2007. *Denitrification Capacity and Denitrifying Bacteria In A Restored Bottomland Hardwood Forest, Mississippi River Alluvial Valley: Hydrological Impacts*. Thesis. Department of Environmental Studies. Faculty of Agricultural and Mechanical College. Louisiana State University. Louisiana.
- Mankiewicz-Boczek, J., Urbaniak. M., Romanowska-Duda. Z. & Izidorczyk. K. 2006. Toxic Cyanobakteri Strains in Lowland Dam Reservoir (Sulejow Res., Central Poland): Amplification of Mcy Genes for Detection and Identification, *Polish Journal of Ecology*, 54(2):171 – 180.
- Manurung, B. 1992. *Produktivitas Primer di Tiga Stasiun pada Perairan Situ Sangiang Tasikmalaya*. ITB Press. Bandung

- Marganof. 2007. *Model Pengendalian Pencemaran Perairan di Danau Mninjau Sumatera Barat*. Disertasi. Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Oberholster, P. Botha. J & Grobbelaan, 2004. *Microcystis* spp. : Source of Toxic Mikrocytstins in Drinking Water. *African Journal of Biotechnology*. 3(3):159 – 168.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Third Edition. W. B. Sounder Co. Philadelphia.
- Palmer, M. A. and D. B. Roy. 2001. *An Estimate of The Extent of Dystrophic, Oligotrophic, Mesotrophic, and Eutrophic standing fresh water in Great Britania*. http://www.jncc.gov.uk/pdf/jncc317_text.pdf. Tanggal Akses 27 Mei 2011
- Partomo. 2008. *Mikroorganisme Pengolah Limbah*. Pustaka. Bandung
- Paustian, T. 2000. *Anaerobic Respiration*. <http://dwb.unl.edu/Teacher/NSF/C11/C11Links/www.bacT.wisc.edu/microtextbook/images/textbook.gif>. University of Wisconsin-Madison. Diakses tanggal 27 Mei 2011.
- Pavanelli, Alex G. 2008. *Phytoremediation of petroleum contaminated soil using Typha latifolia*.
- Pinar, G.,E. Duque, A. Haidor, J-M. Oliva, L. Sanchez-Barbero, V. Clvo and J.L. Ramos. 1997. Removal of High Concetrations of Nitrate from Industrial Watewater by Bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 63(5):2071-2073
- Ramothokang, T. R., S. C Simelane and F. Bux. 2006. *Biological Nitrogen and Phosphorus Removal by Filamentous Bacteria in Pure Culture*. Water Institute of South Africa (WISA) Biennial Conference, Durban, South Africa.
- Retnaningtyah, C., & Samino,S., 2006. Monitoring Dinamika Komunitas Fitoplankton dan Zooplankton di Waduk Sutami Malang Periode Bulan Oktober sampai Desember 2004. Laporan Penelitian Kerjasama Perum Jasa Tirta I dengan Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Sertifikat No.ID03/0127
- Retnaningtyah, C. 2008. Keterkaitan Kualitas Air Dengan Dinamika Populasi *Microcystis* spp. Di Waduk Sutami, Malang Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV*.

- Retnaningdyah, C., U. Marwati, Suharjo, N. Ajijah, Marjono, Soegianto, A., Irawan, B. 2009. Potensi Formulasi Bakteri Pereduksi Nitrat Waduk Sutami Malang dalam menghambat Pertumbuhan *Microcystis*. *Berkala Penelitian Hayati*: 14(2):209-217.
- Retnaningdyah, C., Suharjo, Soegianto, A., Irawan, B. 2010a. Blooming Stimulation of *Microcystis* in Sutami Reservoir Using Nutrients Nitrate and Phosphate in Different ratio. *J. Trop.Life.Science*. 1(1): 42-46
- Retnaningdyah, C., Suharjo, Soegianto, A., Irawan, B. 2010b. Daya Dukung dan Laju Pertumbuhan *Microcystis* Hasil Isolasi dari Waduk Sutami pada Berbagai Variasi Konsentrasi Nitrat dan Fosfat dalam Medium Selektif B-12. *Biota* Vol. 15(3): 354-362, Oktober 2010.
- Retnaningdyah, C., Suharjo, Soegianto, A., Irawan, B. 2011. Media Pertumbuhan, Intensitas Cahaya dan Lama Penyinaran yang efektif untuk Kultur *Microcystis* Hasil Isolasi dari Waduk Sutami di Laboratorium. *Jurnal Biosains Pascasarjana*. Vol 13. No 2. Hal 123-130. Mei, 2011.
- Reynolds, C. S. 1984. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Sanchez, O. 2006. *A Consortium of Bacteria to Degrade Petrol*. *Departement de Genetica i de Microbiologia*. Universitat Autònoma. Barcelona.
- Sejnhova, Lenka. 2008. *Microcystis New Findings in Peptide Production, Taxonomy and Autecology*. Institute of Botany, Czech Academy of Sciences. Czech Republic.
- Smith AR, Pryer KM, Schuettpelz E, Korall P, Schneider H, Wolf PG. 2006. [A classification for extant ferns](#). *Taxon* 55:705-731.
- Smith VH. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake. *Science*.221:669-671
- Soedarti, T., J. Aristiana, dan A. Soegianto. 2006. Diversitas Fitoplankton Pada Ekosistem Perairan Waduk Sutami Malang. *Jurnal Penelitian Hayati* 11: 97-103.
- Soewignyo, P., H. Siregar, E. Suwandi dan W. Sumarsini. 1986. *Indeks Mutu Lingkungan Perairan Ditinjau dari segi Biologis*. Asisten I Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.

- Takaya, N., M. Antonina, C. Sakairi, Y. Sakaguchi, I. Kato, Z. Zhou and H. Shoun. 2003. Aerobic Denitrifying Bacteria That Produce Low Levels of Nitrous Oxide. *Appl. Environ. Microbiol.* 69(6): 3152-3157.
- Thornton, K. W., B. L. Kimmel dan F. E. Payne. 1990. *Reservoir Limnology: Ecological Perspective*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Weitzel, R. L. 1979. *Methods and Measurements of Periphyton Communities: A Review American Society for Testing and Materials*. Philadelphia.
- Welch, P. S. 1952. *Limnology. Second edition*. McGraw Hill International Book Company. New York
- Welch, P. S. 1980. *Ecological Effects of Waste Water*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Whitton, B. A. 1975. *River Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.London.
- Xie L, Xie P, Li S, Tang H, Liu H. The low TN:TP ratio, a cause or a result of Microcystis blooms?. *Water Research* 2003; 37: 207-208
- Yuwono, T. 2009. *Bioteknologi Pertanian*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Zbikowski, Piotr dan Adam. 2007. *Comparison of green algae Cladophora sp dan Enteromorpha sp. as potential biomonitoring of chemical elements in the Southern Baltic*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosentase penurunan konsentrasi ortofosfat dan nitrat

Tabel 2. Persentase penurunan konsentrasi ortofosfat pada perlakuan bioremediasi pada pengamatan hari ke-6, 12 dan 15.

Hari ke-	Prosentase penurunan konsentrasi ortofosfat (persen) pada perlakuan							
	KT Mc	TE Mc	KB Mc	KB TE Mc	KT	TE	KB	KB TE
6	90.92	87.46	74.23	89.82	74.98	90.22	84.90	89.89
12	88.08	87.31	62.95	89.34	84.13	87.75	88.96	80.12
15	98.03	53.07	70.67	89.58	71.81	77.33	58.86	72.82

Keterangan :

KT : Kontrol ; Mc : *Microcystis* ; KB : Konsorsium Bakteri Reduksi Nitrat ; TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*.

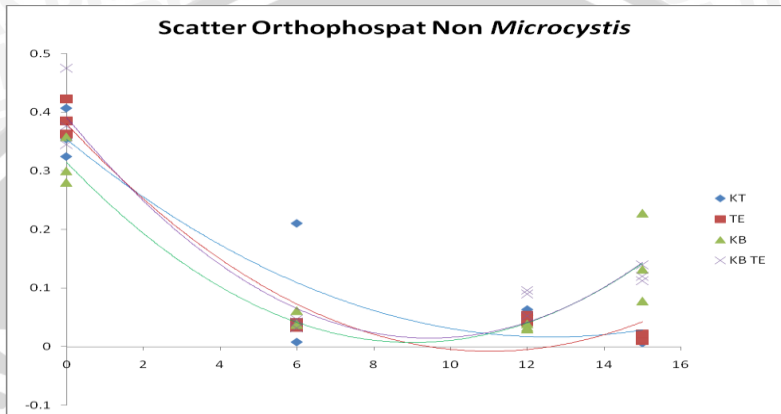
Tabel 3. Persentase penurunan konsentrasi nitrat pada perlakuan bioremediasi pada pengamatan hari ke-6, 12 dan 15.

Hari ke-	Prosentase penurunan konsentrasi nitrat (persen) pada perlakuan							
	KT Mc	TE Mc	KB Mc	KB TE Mc	KT	TE	KB	KB TE
6	72.00	83.36	82.22	80.40	82.64	85.82	81.72	67.72
12	99.59	99.72	99.43	99.80	99.52	99.51	99.61	98.66
15	99.74	99.45	99.72	99.80	99.68	99.69	99.59	99.65

Keterangan :

KT : Kontrol ; Mc : *Microcystis* ; KB : Konsorsium Bakteri Reduksi Nitrat ; TE : *Typha angustifolia* dan *Equisetum ramosissium*

Lampiran 2. Hasil Analisis Penurunan Ortofosfat dengan penambahan *Microcystis* dan tanpa penambahan *Microcystis*.

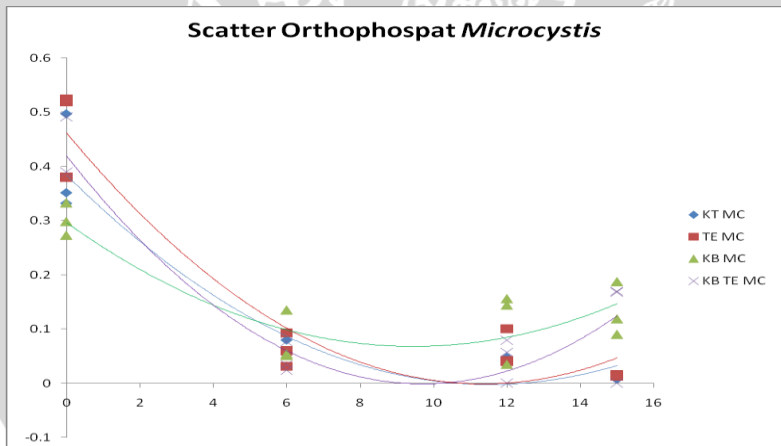


Gambar 12. Hasil Penurunan Konsentrasi Ortofosfat (perlakuan tanpa penambahan *Microcystis*)

Keterangan

y KT = $0.002x^2 - 0.053x + 0.353$; $R^2 : 0.859$ y TE = $0.003x^2 - 0.070x + 0.380$; $R^2 : 0.943$

y KB = $0.003x^2 - 0.068x + 0.314$; $R^2 : 0.906$ y KB TE = $0.004x^2 - 0.079x + 0.391$; $R^2 : 0.926$



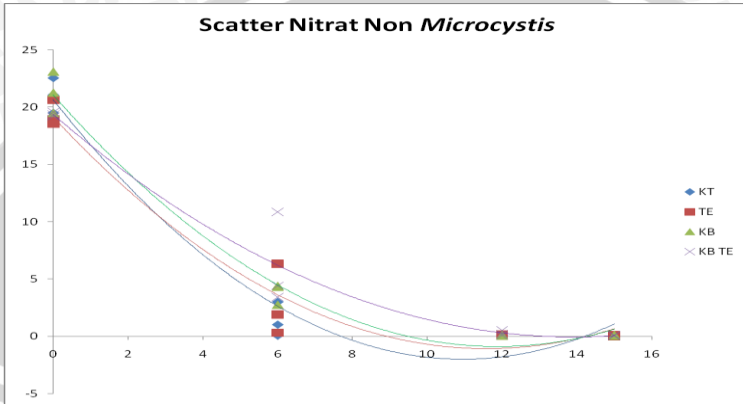
Gambar 13. Hasil Penurunan Konsentrasi Ortofosfat (perlakuan dengan penambahan *Microcystis*)

Keterangan

y KT Mc = $0.002x^2 - 0.067x + 0.383$; $R^2 : 0.905$ y TE Mc = $0.003x^2 - 0.081x + 0.462$; $R^2 : 0.914$

y KB Mc = $0.002x^2 - 0.048x + 0.296$; $R^2 : 0.777$ y KB TE Mc = $0.004x^2 - 0.086x + 0.419$; $R^2 : 0.896$

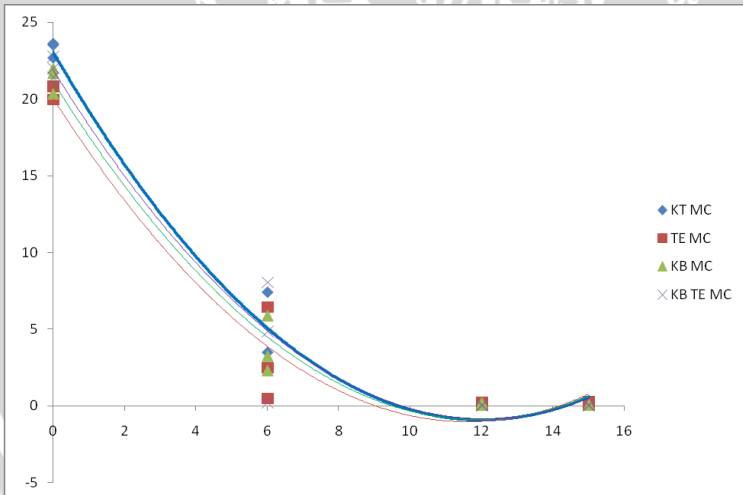
Lampiran 3. Hasil Analisis Penurunan Nitrat dengan penambahan *Microcystis* dan tanpa penamabahan *Microcystis*



Gambar 14. Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat (perlakuan tanpa penambahan *Microcystis*)

$$y_{KT} = 0.189x^2 - 4.138x + 20.65 ; R^2:0.970 \quad y_{TE} = 0.150x^2 - 3.491x + 19.14 ; R^2:0.963$$

$$y_{KB} = 0.155x^2 - 3.700x + 21.07 ; R^2:0.985 \quad y_{KB TE} = 0.100x^2 - 2.801x + 19.38 ; R^2:0.957$$



Gambar 15. Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat (perlakuan dengan penambahan *Microcystis*)

$$y_{KT Mc} = 0.166x^2 - 3.999x + 23.08 ; R^2:0.0982 \quad y_{TE Mc} = 0.090x^2 - 2.233x + 13.52 ; R^2:0.552$$

$$y \text{ KB Mc} = 0.155x^2 - 3.705x + 21.11 ; R^2: 0.0985 \quad y \text{ KB TE Mc} = 0.155x^2 - 3.758x + 21.88 ; R^2: 0.964$$

Lampiran 4. Komposisi Bahan yang digunakan

Tabel 4. Komposisi Media TSA (*Trypticase Soy Agar*)

No	Bahan-bahan	(g/L)
1	Trypticase	15,0
2	Soya peptone	5,0
3	Sodium Chloride	5,0
4	Agar	15,0
pH 7,3 ± 0,2		
Sterilisasi 121 °C; 15 menit		
Ket: 40 g untuk dilarutkan ke dalam 1 L akuades		

Tabel 5. Komposisi Media TSB (*Trypticase Soy Broth*)

No	Bahan-bahan	(g/L)
1	Pancreatic Digest of Casein	17,0
2	Papaic Digest of Soybean meat	5,0
3	Sodium Chloride	5,0
4	Di-basic potassium phosphate	2,5
5	Glucose	2,5
pH 7,3 ± 0,2		
Sterilisasi 121 °C; 15 menit		

Tabel 6. Komposisi Buffer Fosfat

No	Bahan-bahan	Jumlah (ml)
1	KH ₂ PO ₄ 0,2 M	50
2	NaOH 0,2 M	29,1
3	Akuades	200
pH		7

Tabel 7. Isolat-isolat yang digunakan

Kode Isolat Baru	Penurunan Konsentrasi Nitrat (%)
DR-14	97
DU-27-1	95
DU-30-2	93
AT-8	93
DU-27-4	91
DU-27-2	90

Keterangan : DR= Denitrifikasi Hilir; DU= Denitrifikasi Hulu; AT= Nitrifikasi Tengah



Lampiran 5. Hasil Uji ANOVA untuk Carrying Capacity dan Laju Pertumbuhan dengan α 0,05

Tabel 8. Uji Normalitas Carrying capacity dan Laju Pertumbuhan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		carrying capacity	laju pertumbuhan
N		12	12
Normal Parameters ^a	Mean	165699.58	.1811
	Std. Deviation	59696.374	.14316
Most Extreme Differences	Absolute	.165	.267
	Positive	.165	.267
	Negative	-.104	-.159
Kolmogorov-Smirnov Z		.572	.926
Asymp. Sig. (2-tailed)		.899	.358

a. Test distribution is Normal.

Tabel 9. Hasil deskriptif carrying capacity

Descriptives

		carrying capacity							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
K	3	2.50E5	42816.469	2.472E4	143638.00	356362.00	210500	295500	
TE	3	1.20E5	18821.530	1.087E4	73744.73	167255.27	100000	137000	
KB	3	1.60E5	7084.985	4090.518	142031.59	177231.74	152000	186000	
TE KB	3	1.33E5	44114.435	2.547E4	23080.34	242253.00	90500	178500	
Total	12	1.66E5	59696.374	1.723E4	127770.32	203628.85	90500	295500	

Tabel 10. Hasil deskriptif laju pertumbuhan

Descriptives

		laju pertumbuhan							
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
K	3	.0977	.02871	.01658	.0263	.1690	.07	.12	
TE	3	.1553	.10337	.05988	-.1015	.4121	.04	.23	
KB	3	.1713	.07122	.04112	-.0056	.3483	.10	.24	
TE KB	3	.3000	.25170	.14532	-.3252	.9252	.09	.58	
Total	12	.1811	.14316	.04133	.0901	.2720	.04	.58	

Tabel 11. Hasil uji Homogeneity Carrying capacity

Test of Homogeneity of Variances

carrying capacity

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.773	3	8	.230

Tabel 12. Hasil uji Homogeneity Laju pertumbuhan

Test of Homogeneity of Variances

laju pertumbuhan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.330	3	8	.043

Tabel 13. Hasil uji Tukey HSD Laju Pertumbuhan

carrying capacity

	Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	TE	3	1.20E5	
	TE KB	3	1.33E5	
	KB	3	1.60E5	
	K	3		2.50E5
	Sig.		.489	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 6. Hasil Uji t konsentrasi Ortofosfat pada hari ke-0, 6, 12, dan 15

Tabel 14. Hasil Uji T pada hari ke-0 dan ke-6

Perlakuan	KT MC 0	KT 0	TE MC 0	TE 0	KB MC 0	KB 0	KB TE MC 0	KB TE 0	KT MC 6	KT 6	TE MC 6	TE 6	KB MC 6	KB 6	KB TE MC 6	KB TE 6
KT MC 0		NS	S	S	S	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KT 0			NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE MC 0				NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE 0					NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KB MC 0						NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KB 0							NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE MC 0								NS	NS	S	S	S	S	S	S	S
KB TE 0									S	S	S	S	S	S	S	S
KT MC 6										S	S	S	S	S	S	S
KT 6											NS	NS	S	NS	NS	NS
TE MC 6												NS	NS	NS	NS	NS
TE 6													NS	NS	NS	NS
KB MC 6														S	S	NS
KB 6															NS	NS
KB TE MC 6																NS
KB TE 6																NS

Tabel 15. Hasil Uji t pada hari ke-0 dan ke-12

Perlakuan	KT MC 0	KT 0	TE MC 0	TE 0	KB MC 0	KB 0	KB TE MC 0	KB TE 0	KT MC 12	KT 12	TE MC 12	TE 12	KB MC 12	KB 12	KB TE MC 12	KB TE 12
KT MC 0		NS	S	S	S	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KT 0			NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE MC 0				NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE 0					NS	NS	S	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB MC 0						NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KB 0							NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE MC 0								NS	NS	S	S	S	S	S	S	S
KB TE 0									S	S	S	S	S	S	S	S
KT MC 12										S	S	S	S	S	S	S
KT 12											NS	NS	NS	NS	NS	NS
TE MC 12												NS	NS	NS	NS	NS
TE 12													NS	NS	NS	NS
KB MC 12														NS	NS	NS
KB 12															NS	NS
KB TE MC 12																NS
KB TE 12																NS

Tabel 16. Hasil Uji t pada hari ke-0 dan ke-15

Perlakuan	KT MC 0	KT 0	TE MC 0	TE 0	KB MC 0	KB 0	KB TE MC 0	KB TE 0	KT MC 15	KT 15	TE MC 15	TE 15	KB MC 15	KB 15	KB TE MC 15	KB TE 15
KT MC 0		NS	S	S	S	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KT 0			NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE MC 0				NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE 0					NS	NS	S	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB MC 0						NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
KB 0							NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE MC 0								NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE 0									S	S	S	S	S	S	S	S
KT MC 15										NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
KT 15											NS	NS	NS	NS	NS	NS
TE MC 15												NS	NS	NS	S	NS
TE 15													NS	NS	NS	NS
KB MC 15														NS	NS	NS
KB 15															NS	NS
KB TE MC 15																NS
KB TE 15																NS

Lampiran 7. Hasil Uji t konsentrasi nitrat pada hari ke-0, 6, 12, dan 15

Tabel 17. Hasil Uji T pada hari ke-0 dan ke-6

Perlakuan	KT MC 0	KT 0	TE MC 0	TE 0	KB MC 0	KB 0	KB TE MC 0	KB TE 0	KT MC 6	KT 6	TE MC 6	TE 6	KB MC 6	KB 6	KB TE MC 6	KB TE 6
KT MC 0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
KT 0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
TE MC 0			NS	S	S	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TE 0				S	NS	NS	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
KB MC 0					NS	S	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
KB 0						NS	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
KB TE MC 0							NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
KB TE 0								S	S	NS	S	S	S	S	S	S
KT MC 6									NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
KT 6										NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TE MC 6											NS	NS	NS	NS	NS	NS
TE 6												NS	NS	NS	NS	NS
KB MC 6													NS	NS	NS	NS
KB 6														NS	NS	NS
KB TE MC 6															NS	NS
KB TE 6																NS

Tabel 18. Hasil Uji t pada hari ke-0 dan ke-12

Perlakuan	KT MC 0	KT 0	TE MC 0	TE 0	KB MC 0	KB 0	KB TE MC 0	KB TE 0	KT MC 12	KT 12	TE MC 12	TE 12	KB MC 12	KB 12	KB TE MC 12	KB TE 12
KT MC 0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KT 0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
TE MC 0			NS	S	S	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
TE 0				S	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB MC 0					NS	S	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB 0						NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE MC 0							NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE 0								S	S	S	S	S	S	S	S	S
KT MC 12										S	NS	NS	NS	S	NS	NS
KT 12											NS	NS	NS	S	NS	NS
TE MC 12												NS	NS	S	NS	NS
TE 12													NS	S	NS	NS
KB MC 12														NS	NS	NS
KB 12															NS	NS
KB TE MC 12																NS
KB TE 12																

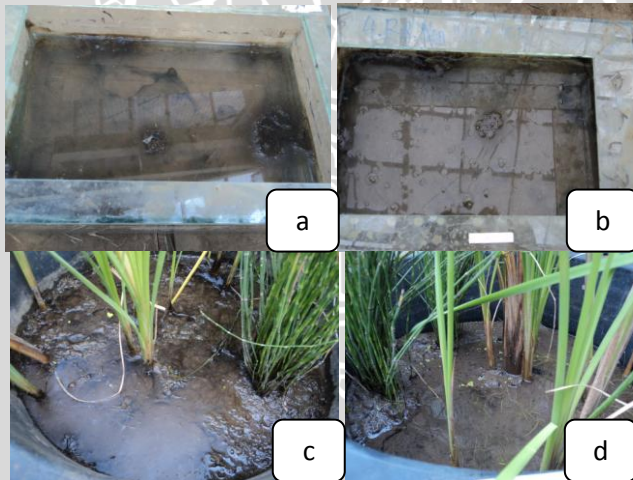
Tabel 19. Hasil Uji t pada hari ke-0 dan ke-15

Perlakuan	KT MC 0	KT 0	TE MC 0	TE 0	KB MC 0	KB 0	KB TE MC 0	KB TE 0	KT MC 15	KT 15	TE MC 15	TE 15	KB MC 15	KB 15	KB TE MC 15	KB TE 15
KT MC 0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KT 0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
TE MC 0			NS	S	S	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
TE 0				S	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB MC 0					NS	S	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB 0						NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE MC 0							NS	NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KB TE 0								NS	S	S	S	S	S	S	S	S
KT MC 15										NS	NS	NS	S	NS	S	S
KT 15											S	NS	S	S	NS	S
TE MC 15												NS	S	S	NS	NS
TE 15													S	S	NS	NS
KB MC 15														NS	NS	NS
KB 15															NS	NS
KB TE MC 15																NS
KB TE 15																

Lampiran 8. Hasil pengamatan selama perlakuan



Gambar 16. Hasil pengamatan sel *Microcystis* pada perbesaran 400x



Gambar 17. Kontrol dan perlakuan selama penelitian

Keterangan

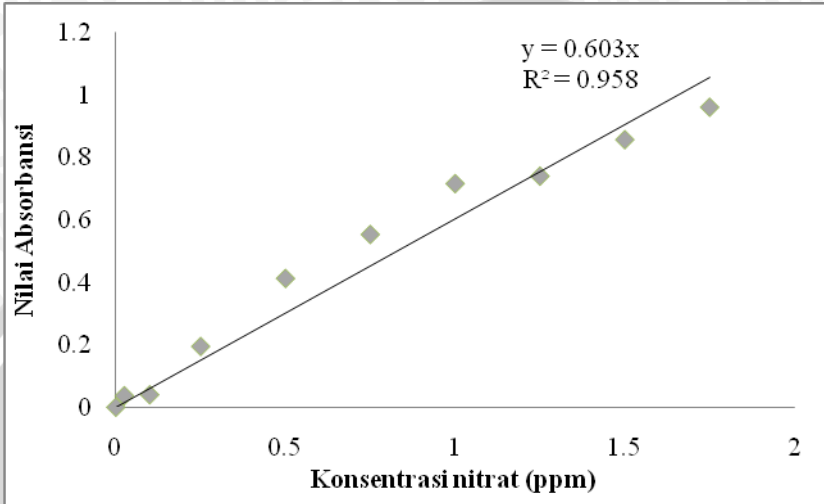
a. Kontrol

b. Konsorsium Bakteri

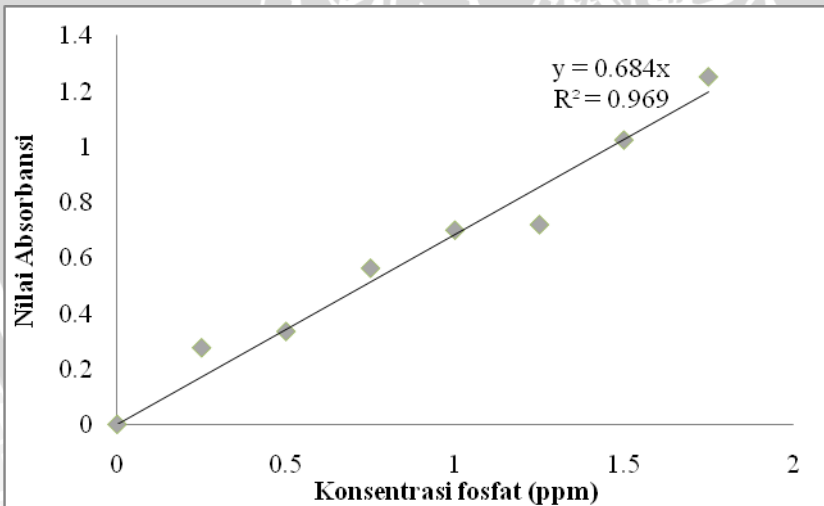
c. *T. angustifolia* dan *E. ramosissium*

d. *T. angustifolia* dan *E. ramosissium* dan Konsorsium Bakteri

Lampiran 9. Kurva Standar Nitrat dan Fosfat



Gambar 18. Kurva standar nitrat



Gambar 19. Kurva standar fosfat