

**PERLAKUAN BIOLOGIS DENGAN KONSORSIUM BAKTERI  
PENGOKSIDASI  $Mn^{2+}$  DAN  $Fe^{2+}$  DARI LAHAN ALFISOLS JUMANTONO  
UNTUK PEMURNIAN AIR TANAH**

**Skripsi**  
**Untuk memenuhi sebagian persyaratan**  
**guna memperoleh derajat Sarjana Pertanian**  
**di Fakultas Pertanian**  
**Universitas Sebelas Maret Surakarta**  
**Jurusan / Program Studi Ilmu Tanah**



**Oleh :**  
**AYU INDAH SAPUTRI**  
**H 0205004**

**FAKULTAS PERTANIAN**  
**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**  
**SURAKARTA**  
**2011**

*commit to user*

**PERLAKUAN BIOLOGIS DENGAN KONSORSIUM BAKTERI  
PENGOKSIDASI  $Mn^{2+}$  DAN  $Fe^{2+}$  DARI LAHAN ALFISOLS  
JUMANTONO UNTUK PEMURNIAN AIR TANAH**

yang dipersiapkan dan disusun oleh :

**AYU INDAH SAPUTRI**

**H 0205004**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal : Januari 2011

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

**Ketua**

**Anggota I**

**Anggota II**

**Prof.Dr. Agr. Sc. Ir. Vita Ratri Cahyani, M.P**  
NIP. 19661205 199010 2 001

**Ir. Sumani, M.Si**  
NIP. 19630704 198803 2 001

**Dwi Priyo Ariyanto, SP,M.S**  
NIP. 19790115 200501 1 001

Surakarta, Januari 2011

Mengetahui,

Universitas Sebelas Maret

Fakultas Pertanian

Dekan

**Prof. Dr. Ir. H. Suntoro, MS.**  
NIP. 19590909 198603 2 002

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Atas terselesaikannya skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Suntoro, MS selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Prof. Dr. Agr. Sc. Ir. Vita Ratri Cahyani, MP, selaku pembimbing utama yang memberi topik penelitian ini dan selanjutnya yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu mendukung dana penelitian untuk skripsi yang bersumber dari Hibah Strategi Nasional DIPA UNS Tahun 2009.
3. Ir. Sumani, M.Si dan Dwi Priyo Ariyanto, SP, M.Sc selaku pembimbing pendamping I dan pembimbing II yang telah dengan sabar memberikan bimbingan dan mengarahkan dalam penelitian dan skripsi ini.
4. Ir. Sumarno, MS selaku pembimbing akademik.
5. Kedua orang tua, kakak, adik dan seluruh keluarga besar saya, yang selalu memberikan do'a dan kasih sayang yang tak putus-putus serta motivasi untuk segera menyelesaikan skripsi ini. Ini adalah persembahan saya yang pertama, semoga ada kesempatan berikutnya untuk memberi yang lebih baik.
6. Teman-teman satu tim penelitian (Antasari, Desi, Indri).
7. Teman-teman MIT'05 yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan semangat.
8. Keluarga Mahasiswa Ilmu Tanah (KMIT).
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun pada skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penyusun pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Surakarta, Januari 2011

*commit to user*

Penulis

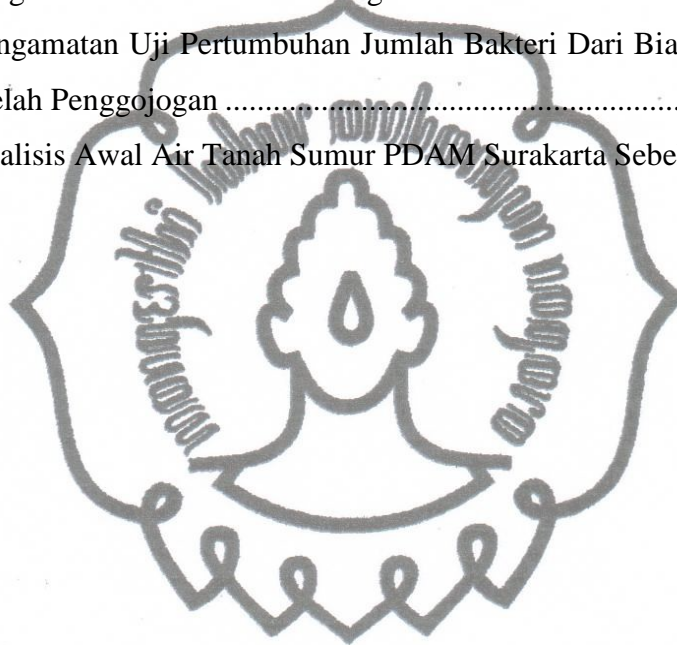
## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Perumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Manfaat Penelitian .....	3
<b>II. LANDASAN TEORI</b>	
A. Tinjauan Pustaka .....	4
1. Air Tanah Yang digunakan Sebagai Sumber Air Minum .....	4
2. Lahan Sawah Alfisol Sebagai Sumber Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$ .....	6
B. Kerangka Berpikir .....	7
C. Hipotesis .....	7
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	8
B. Bahan dan Alat Penelitian .....	8
1. Bahan .....	8
2. Alat .....	8
C. Rancangan Percobaan .....	8
D. Tata Laksana Penelitian .....	9

E. Variabel Pengamatan.....	11
F. Analisis Data .....	11
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Pengamatan Diversitas Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$ .....	12
B. Hasil Pengamatan Pertumbuhan Isolasi Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ .....	14
C. Hasil Pengamatan Bakteri Pengoksidasi $Fe^{2+}$ .....	18
D. Hasil Pengamatan Uji Pertumbuhan Jumlah Bakteri Dari Biakan Murni Media Cair Setelah Penggojogan .....	21
E. Analisis Awal Air Tanah Sumur PDAM Sebelum Perlakuan .....	22
F. Hasil Pengujian Kemampuan Mengoksidasi Berbagai Komposisi Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Terhadap Konsentrasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Pada Air Tanah .....	23
1. Pengaruh Perlakuan Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Terhadap Konsentrasi $Mn^{2+}$ .....	23
2. Pengaruh Perlakuan Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Terhadap Konsentrasi $Fe^{2+}$ .....	24
G. Hasil Aplikasi Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Dari Lahan Alfisols Ke Dalam Botol Perlakuan.....	25
H. Hasil Pengaruh Perlakuan Terhadap pH .....	26
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan.....	28
B. Saran.....	28
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
1	Hasil Pengamatan Diversitas Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$ dari lahan Alfisol Jumantono .....	12
2	Hasil Pengamatan Isolasi Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ .....	14
3	Hasil Pengamatan Uji Pertumbuhan Jumlah Bakteri Dari Biakan Murni Media Cair Setelah Penggojogan .....	21
4	Hasil Analisis Awal Air Tanah Sumur PDAM Surakarta Sebelum Perlakuan.....	22



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1	Pertumbuhan bakteri pengoksidasi $Mn^{2+}$ tipe 1 (MG.Alf1.AI.-6a) .....	15
2	Pertumbuhan bakteri pengoksidasi $Mn^{2+}$ tipe 2 (MG.Alf1.BII.-5a) .....	16
3	Pertumbuhan bakteri pengoksidasi $Mn^{2+}$ tipe 3 (MG.Alf2.AI.-3b) .....	17
4	Pertumbuhan bakteri pengoksidasi $Fe^{2+}$ strain <i>Sphaerotilus</i> sp. (MS.Alf1.A.-3b) .....	19
5	Pertumbuhan bakteri pengoksidasi $Fe^{2+}$ strain <i>Leptothrix</i> sp. (ML.Alf1.AI.-1) .....	20
6	Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi $Mn^{2+}$ .....	23
7	Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi $Fe^{2+}$ .....	24
8	Botol perlakuan yang menunjukkan pengendapan mangan dan besi pada air tanah.....	25
9	Pengaruh Perlakuan Terhadap pH.....	26



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1	Pengamatan Pertumbuhan Visual Bakteri.....	30
2	Pengaruh perlakuan terhadap konsentrasi $Mn^{2+}$ terlarut .....	31
3	Pengaruh perlakuan terhadap konsentrasi $Fe^{2+}$ terlarut.....	32
4	Dokumentasi.....	33



*commit to user*



## RINGKASAN

**Ayu Indah Saputri. H 0205004. Perlakuan Biologis Dengan Konsorsium Bakteri Pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  Dari Lahan Alfisols Jumantono Untuk Pemurnian Air Tanah.** Dibawah bimbingan Prof. Dr. Agr. Sc. Ir. Vita Ratri Cahyani, MP.; Ir. Sumani, M.Si.; Dwi Priyo Ariyanto, SP, M.Sc. Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan bulan Desember 2009 di laboratoriom Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan seleksi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang paling efektif pada pemisahan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang bersumber dari lahan Alfisols Jumantono untuk pemurnian air tanah,

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal yaitu aplikasi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang terdiri dari 3 ulangan. Pada penelitian ini media selektif untuk pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  digunakan media Gerettsen sedangkan media yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  menggunakan media Stokes untuk bakteri strain *Sphaerotilus* sp. dan media Stokes & Rouf untuk bakteri strain *Leptothrix* sp. Konsorsium bakteri yang diperoleh diaplikasikan pada botol-botol yang telah diisi air tanah yang sudah diketahui mempunyai kandungan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  tinggi, sehingga dapat diketahui masing-masing kemampuan konsorsium bakteri yang paling efektif dalam mengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$ . Variabel percobaan yang diamati meliputi konsentrasi  $Mn^{2+}$  terlarut, konsentrasi  $Fe^{2+}$  terlarut, dan pH  $H_2O$ . Data yang diperoleh dianalisis statistik dengan menggunakan uji keragaman (uji F) kemudian dilanjutkan dengan uji DMRT taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari berbagai perlakuan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang paling efektif menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dalam pemurnian air tanah adalah perlakuan air tanah dengan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 yang mampu menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  pada air tanah dari konsentrasi 0,38 mg/l turun sampai 0,23 mg/l. Sedangkan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  yang mampu menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  adalah konsorsium bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. Konsorsium bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. mampu menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  pada air tanah dari konsentrasi 0,42 mg/l turun sampai 0,25 mg/l.

Kata kunci : bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$ , bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$ , pemurnian air tanah, lahan Alfisols

## SUMMARY

**Ayu Indah Saputri. H 0205004. Biological Treatment With Oxidizing Bacteria Consortium  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  From Alfisols Jumantono To Ground Water Purification.** Under the Supervision of Prof. Dr. Agr. Sc. Ir. Vita Ratri Cahyani, M.P.; Ir. Sumani, M.Si; Dwi Priyo Ariyanto, S.P, M.Sc. This research was conducted on August until December 2009 in the Soil Biology laboratoriom of Agriculture Faculty, Sebelas Maret University, Surakarta.

The purpose of this research was to make selection for oxidizing bacteria consortium  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  are most effective in the separation of  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  are sourced from Alfisols Jumantono land for ground water purification

This research was an experimental research with a Completely Randomized Design (CRD) single factor is application of a consortium of bacteria oxidizing  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  is comprised of three replications. In this study of selective media for bacterial growth media used oxidizing  $Mn^{2+}$  Gerettsen while the media used for growth of bacteria oxidizing  $Fe^{2+}$  to use the media to Stokes bacterial strains *Sphaerotilus* sp. and the media to Stokes & Rouf strains of bacteria *Leptothrix* sp. Consortium of bacteria obtained applied to the bottles that have been filled soil water content have been known to  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  high, so that can know the ability of each consortium, the most effective bacteria oxidize  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$ . The observed variables are the concentration of dissolved  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  dissolved concentration, and pH  $H_2O$ . The data obtained were analyzed statistically by using the diversity test (F test) followed by DMRT test level 5%.

The results showed that the various treatment consortium of bacteria oxidizing  $Mn^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  are most effective to reduce the concentration of  $Mn^{2+}$  in the purification of ground water is the treatment of ground water with a consortium of bacteria oxidizing  $Mn^{2+}$  type 3 are able to decrease the concentration of  $Mn^{2+}$  in groundwater from concentrations of 0.38 mg / l dropped to 0.23 mg / l. Meanwhile, a consortium of bacteria capable of oxidizing  $Fe^{2+}$  concentration of  $Fe^{2+}$  is a consortium of bacterial strains oxidizing  $Fe^{2+}$  *Leptothrix* sp. Consortium  $Fe^{2+}$  oxidizing bacteria strains *Leptothrix* sp. able to decrease the concentration of  $Fe^{2+}$  concentration in ground water of 0.42 mg / l down to 0.25 mg / l.

Key words: bacteria oxidizing  $Mn^{2+}$ , bacteria oxidizing  $Fe^{2+}$ , ground water purification, Alfisols area

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Sumber daya air harus dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makhluk hidup yang lain. Aspek penghematan dan pelestarian sumber daya air harus ditanamkan pada segenap pengguna air (Effendi, 2003).

Di Indonesia cakupan pelayanan air bersih masih rendah. Perusahaan penyedia air bersih PAM (Perusahaan Air Minum) atau PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) hanya mampu memasok kebutuhan di kota-kota saja dengan kuantitas yang juga masih kecil. Akibatnya, sebagian besar masyarakat yang tidak terjangkau oleh pelayanan air bersih umumnya menggunakan air tanah atau air permukaan untuk keperluan hidupnya sehari-hari. Namun, kedua sumber air ini sering kali hanya dapat memenuhi kebutuhan secara kuantitatif. Tanpa pengolahan, kualitas fisik, kimiawi dan biologis air permukaan dan air tanah di sebagian besar wilayah Indonesia belum memenuhi standar (Peraturan Menteri Kesehatan No.: 416/1990 dan Keputusan Menteri Kesehatan No.: 907/2002).

Sebagai negara yang alamnya kaya mineral, air tanah di Indonesia sering mengandung besi dan mangan cukup tinggi. Di dalam air, kedua logam ini selalu ada bersama-sama. Bagi manusia kedua logam adalah esensial tetapi juga dapat bersifat toksik jika melebihi batas syarat yang ditentukan terutama untuk konsumsi air minum (Ahmad, 2004).

Menurut badan dunia World Health Organization (WHO), kadar maksimum  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang diperkenankan untuk kepentingan air minum masing-masing adalah 0,1 mg/l dan 0,3 mg/l (Effendi, 2003).

$Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  biasanya dipisahkan dari air tanah dengan menggunakan proses aerasi atau oksidasi kimiawi yaitu menaikkan tingkat oksidasi oleh suatu oksidator dengan tujuan merubah bentuk besi dan mangan terlarut menjadi bentuk besi dan mangan tidak larut (endapan).

Proses ini dilanjutkan dengan pemisahan endapan yang terbentuk menggunakan proses sedimentasi dan atau filtrasi (Mouchet 1992 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009, Sarma *et al.*, 2005 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009).

Disadari bahwa penggunaan senyawa kimia dalam proses perlakuan air harus ditekan serendah mungkin, tidak hanya karena tingginya biaya operasional untuk aplikasi metode tersebut tetapi juga adanya dampak dari efek residu dan pembentukan senyawa lain yang berbahaya (Gallard *et al.*, 2002 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009, Kegley *et al.*, 2009 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009).

Bertolak dari alasan-alasan tersebut, penelitian dengan menggunakan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang bersumber dari lahan Alfisols Jumantono pada penelitian ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk solusi pemurnian air tanah dari  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$ .

## **B. Perumusan Masalah**

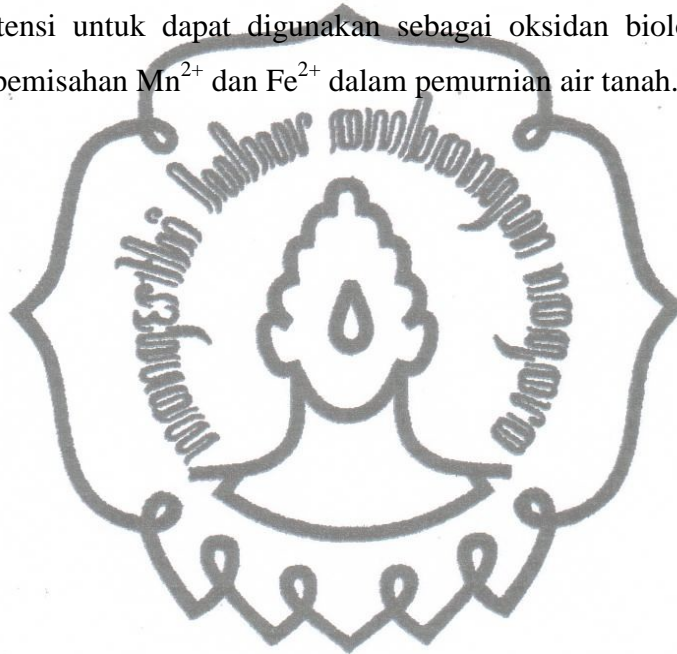
Sebagian besar keperluan air sehari-hari berasal dari sumber air tanah dan sungai. Masalah serius pemenuhan kebutuhan air terutama untuk bahan baku air minum memerlukan solusi dan penanganan segera. Disadari bahwa penggunaan senyawa kimia dalam proses perlakuan air harus ditekan serendah mungkin, tidak hanya karena tingginya biaya operasional untuk aplikasi metode tersebut, tetapi juga adanya dampak dari efek residu dan pembentukan senyawa lain yang berbahaya. Menurut badan dunia World Health Organization (WHO), kadar maksimum  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang diperkenankan untuk kepentingan air minum masing-masing adalah 0,1 mg/l dan 0,3 mg/l (Effendi, 2003). Konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang bersumber dari lahan Alfisols Jumantono pada penelitian ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk solusi menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  pada pemurnian air tanah untuk air minum.

**C. Tujuan Penelitian**

Melakukan isolasi dan seleksi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang paling efektif pada pemisahan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang bersumber dari lahan Alfisols Jumantono untuk pemurnian air tanah.

**D. Manfaat Penelitian**

Memperoleh konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang berpotensi untuk dapat digunakan sebagai oksidan biologis yang efektif pada pemisahan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dalam pemurnian air tanah.





## II. LANDASAN TEORI

### A. Tinjauan Pustaka

#### 1. Air Tanah Yang digunakan Sebagai Sumber Air Minum

Syarat-syarat air minum antara lain :

- Syarat fisik : air tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna (jernih), suhu hendaknya di bawah suhu udara (sejuk  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ).
- Syarat kimiawi : air tersebut harus bebas dari bahan kimia.
- Syarat mikrobiologi : air minum tidak mengandung bakteri-bakteri penyakit (patogen) dan tidak mengandung bakteri-bakteri golongan coli melebihi batas yang telah ditentukan, yaitu 2 coli/100ml untuk koliform tinja (Sutrisno, 2006).

Di dalam tanah  $\text{Mn}^{4+}$  berada dalam bentuk senyawa mangan dioksida mengalami reduksi menjadi  $\text{Mn}^{2+}$  yang bersifat larut.  $\text{Mn}^{2+}$  berikatan dengan nitrat, sulfat, dan klorida, dan larut dalam air. Mangan dan besi valensi dua hanya terdapat pada perairan yang memiliki kondisi anaerob. Jika perairan kembali mendapat cukup aerasi,  $\text{Mn}^{2+}$  mengalami reoksidasi membentuk  $\text{Mn}^{4+}$  yang selanjutnya mengalami presipitasi dan mengendap di dasar perairan (Moore, 1991).

$\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  biasanya dipisahkan dari air tanah dengan menggunakan proses aerasi atau oksidasi kimiawi, yaitu menaikkan tingkat oksidasi oleh suatu oksidator dengan tujuan merubah bentuk besi dan mangan terlarut menjadi bentuk besi dan mangan tidak larut (endapan). Proses ini dilanjutkan dengan pemisahan endapan yang terbentuk menggunakan proses sedimentasi dan atau filtrasi. (Mouchet 1992 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009, Sarma *et al.*, 2005 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009).

Menurut badan dunia World Health Organization (WHO), kadar maksimum  $\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  yang diperkenankan untuk kepentingan air minum masing-masing adalah 0,1 mg/l dan 0,3 mg/l (Effendi, 2003).

*commit to user*

Berbagai spesies bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  telah ditemukan di hampir semua bagian biosphere dimana terdapat presipitasi Mn-oksida. Sebagai pengoksidasi  $Mn^{2+}$  antara lain: *Streptomyces* sp., *Pedomicrobium* sp., *Corynebacterium* sp., *Metallogenium* sp., *Bacillus* sp., *Siderocapsa* sp., (Bromfield dan Skerman 1950 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009; Ehrllich 1968 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009; Francis dan Tebo 2001 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009; Gregory dan Staley 1982 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009; Mouchet 1992 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009; Wada *et al.*, 1978 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009).

Sejauh ini hanya satu penelitian yang melaporkan penggunaan bakteri tertentu yaitu *Pedomicrobium* sp., sebagai bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dalam perlakuan biologis air tanah di Australia (Dixon *et al.*, 2006 *cit.* Cahyani dan Ariyanto, 2009).

Proses oksidasi dan reduksi besi biasanya melibatkan bakteri sebagai mediator. Bakteri kemosintesis *Thiobacillus* sp. dan *Ferrobacillus* sp. memiliki sistem enzim yang dapat mentransfer elektron dan ion ferro kepada oksigen. Transfer elektron ini menghasilkan ion ferri, air, dan energi bebas yang digunakan untuk sintesis bahan organik dan karbondioksida (Cole, 1988).

Berbagai spesies bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  telah ditemukan di hampir semua bagian biosphere dimana terdapat presipitasi Fe-oksida. Sebagai pengoksidasi  $Fe^{2+}$  antara lain: *Siderooxidans ghiorshii* sp., *Acidimicrobium ferrooxidans* sp., *Geobacter psychrophilus* sp., *Desulfovibrio* sp, dan *Gallionella* sp. (Clark dan Norris 1996 *cit.* Cahyani 2008; Emerson dan Moyer 1997 *cit.* Cahyani 2008; Nevin *et al.*, 2005 *cit.* Cahyani 2008; Weiss *et al.*, 2003 *cit.* Cahyani 2008).

Dari hasil penelitian Cahyani *et al.*, 2009 telah ditemukan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  genus *Burkholderia* dan jamur pengoksidasi  $Mn^{2+}$  genus *Acremonium*.



## 2. Lahan Sawah Alfisol Sebagai Sumber Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$

Tanah Alfisols merupakan tanah yang memiliki kandungan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  cukup tinggi. Pada horizon illuviasi terdapat pengendapan Mn dan Fe yang di dalamnya terdapat banyak mikroorganisme yang hidup seperti bakteri-bakteri pengoksidasi (Munir, 1996).

Pengolahan tanah sawah dalam keadaan tergenang, dapat menghasilkan terbentuknya lapisan tapak bajak di bawah lapisan olah. Penggenangan tanah selama pertumbuhan padi dapat mereduksi Fe dan Mn sehingga menjadi larut dan meresap bersama air perkolasi ke lapisan-lapisan bawah, sehingga terbentuk horizon iluviasi Fe di atas horizon iluviasi Mn (Hardjowigeno *et al.*, 2009).

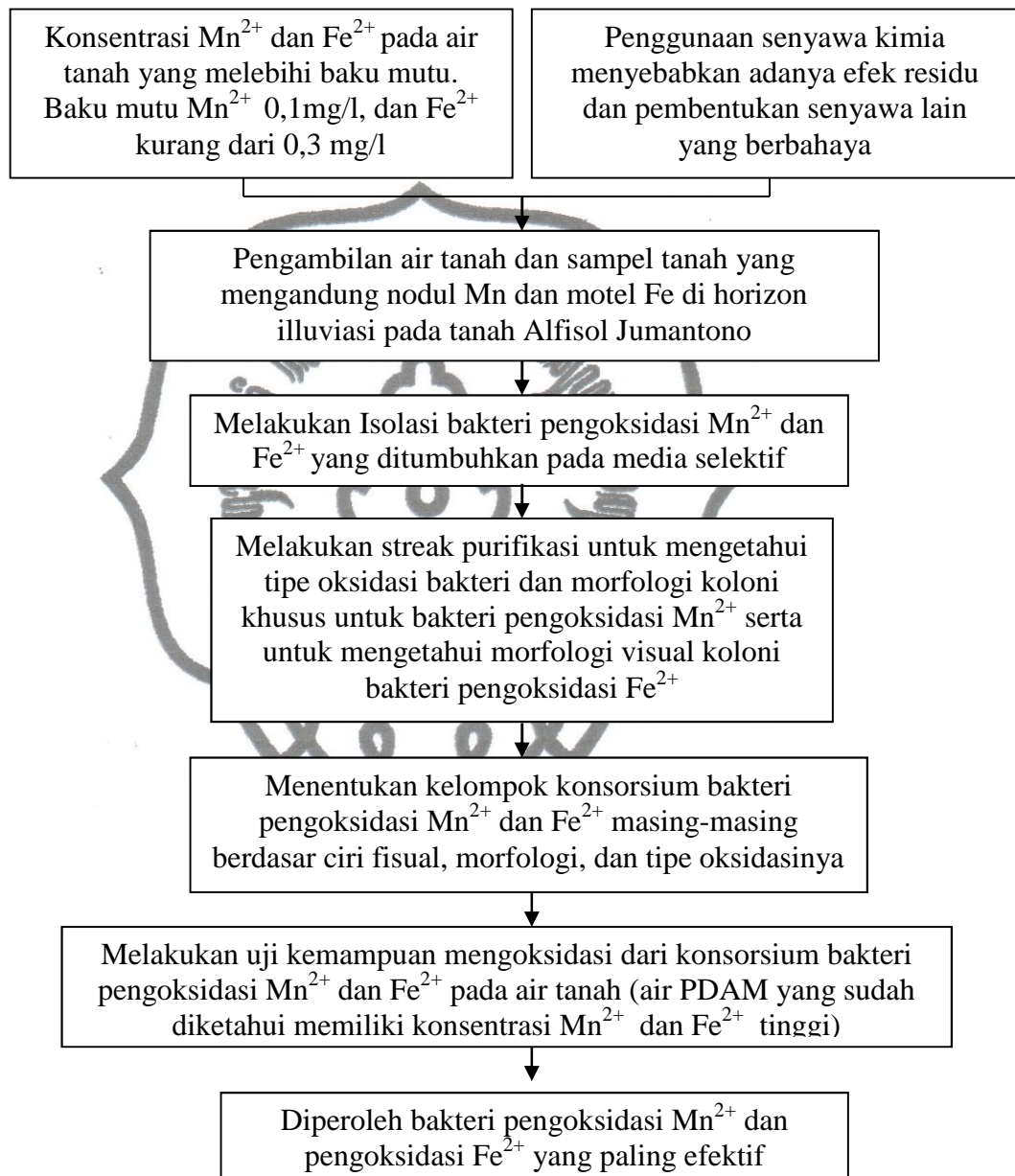
Pada tanah sawah dengan air tanah yang relatif dangkal, terbentuk horizon iluviasi Fe dan Mn di atas garis permukaan air tanah. Pada waktu permukaan air tanah naik ke lapisan yang lebih oksidatif di atasnya, maka  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$  juga ikut terbawa, dan karena Fe lebih sukar larut daripada Mn, maka Fe akan mengendap lebih dulu. Akibatnya, terbentuklah horizon Bir di bawah horizon Bmn. Kedua horizon ini kadang dapat terpisah dengan jelas, tetapi kadang-kadang juga tidak jelas terpisah (Hardjowigeno *et al.*, 2009).

Horizon iluviasi-Fe di atas iluviasi-Mn dapat terbentuk pada tanah berdrainase baik yang disawahkan, yang kedalaman air tanahnya >1 m. Keduanya ditemukan di bawah lapisan tapak bajak, dan merupakan horizon iluviasi Fe dan horizon iluviasi Mn, yang sebagian besar telah teroksidasi. Kedua unsur tersebut pada awalnya tercuci (eluviasi) dari lapisan olah dalam keadaan tereduksi, ion  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$ , yang kemudian diendapkan (iluviasi) di horizon B, yang berada dalam suasana oksidasi. Karena kelarutan  $Fe^{2+}$  lebih rendah dari  $Mn^{2+}$ , maka Fe akan mengendap lebih dulu, sehingga terbentuklah horizon iluviasi Fe di atas horizon iluviasi Mn. Horizon iluviasi Fe umumnya sangat

*commit to user*

tipis (<1 cm), sedangkan horizon iluviasi Mn umumnya lebih tebal (Koenigs, 1950; Grant, 1965).

## B. Kerangka Berpikir



## C. Hipotesis

- Ho : Aplikasi bakteri pengoksidasi Mn<sup>2+</sup> dan Fe<sup>2+</sup> pada air tanah tidak berpengaruh menurunkan konsentrasi Mn<sup>2+</sup> dan Fe<sup>2+</sup> terlarut.
- Hi : Aplikasi bakteri pengoksidasi Mn<sup>2+</sup> dan Fe<sup>2+</sup> pada air tanah berpengaruh menurunkan konsentrasi Mn<sup>2+</sup> dan Fe<sup>2+</sup> terlarut.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biologi Tanah Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta pada bulan Agustus sampai dengan bulan Desember 2009.

#### B. Bahan dan Alat Penelitian

##### 1. Bahan

- a. Sampel tanah Alfisol di Jumantono
- b. Sampel air sumur dari area tanah sawah Alfisols di Jumantono
- c. Sampel air tanah dari sumur PDAM kolam Manahan I, Surakarta
- d. Khemikalia untuk analisis laboratorium

##### 2. Alat

Tabung reaksi, pipet ukur, erlenmeyer, petridish, kertas label, kapas, bunsen, pengaduk, jrigen, timbangan analitik, jarum ose, mikroskop, kamera digital, otoklaf, pemanas, aerator.

#### C. Rancangan Percobaan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal yaitu aplikasi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang terdiri dari 3 ulangan. Adapun desain perlakuan tersebut antara lain:

P0 = Air tanah

P1 = Air tanah + media cair Gerretsen

P2 = Air tanah + media cair Stokes + media cair Stokes & Rouf

P3 = Air tanah + media cair Gerretsen + media cair Stokes + media cair Stokes & Rouf

P4 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1

P5 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2

P6 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3

P7 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  gabungan (dari tipe 1+2+3). *commit to user*

P8 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  strains *Sphaerotilus* sp.

P9 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  strains *Leptotrix* sp.)

P10 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  gabungan (strains *Sphaerotilus* sp. dan strains *Leptotrix* sp.)

P11 = Air tanah + konsorsium bakteri pengoksidasi  $\text{Mn}^{2+}$  gabungan + konsorsium bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  gabungan

Catatan:

Air tanah : sampel air yang diambil dari air tanah sumur PDAM kolam Manahan I, Surakarta yang memiliki konsentrasi  $\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  yang tinggi.

#### D. Tata Laksana Penelitian

##### 1. Pengambilan Tanah dan Air Sumur di Alfisols Jumantono

Dengan cara mengambil tanah pada horizon illuviasi  $\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  dan air sumur terdekat di area tanah sawah Alfisols Jumantono.

Berikut rincian pengambilan tanah dan air tanah pada tanah sawah Alfisol yang diambil pada tanggal 25 Juli 2009, pukul 14.23 WIB di Kec. Jumantono, Kab. Karanganyar, sebagai berikut:

a. Titik 1 pengambilan tanah Alfisol

Di Dusun Mbakaran, Desa Sukosari, Kel. Sukosari, Kec. Jumantono, Kabupaten Karanganyar. Terletak pada  $07^{\circ}38'09,8''$  LS dan  $110^{\circ}56'42,2''$  BT dengan ketinggian  $\pm 156$  m

b. Titik 2 pengambilan tanah Alfisol

Di Dusun Mbakdalem, Desa Sukosari, Kel. Sukosari, Kec. Jumantono, Kabupaten Karanganyar. Terletak pada  $07^{\circ}38'18,2''$  LS dan  $110^{\circ}56'34,9''$  BT dengan ketinggian  $\pm 150$  m

c. Titik pengambilan air sumur tanah Alfisol

Di Dusun Mbakdalem, Desa Sukosari, Kel. Sukosari, Kec. Jumantono, Kabupaten Karanganyar. Terletak pada  $07^{\circ}38'18,6''$  LS dan  $110^{\circ}56'35,1''$  BT dengan ketinggian  $\pm 152$  m

## 2. Isolasi Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$

Melakukan Isolasi bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari tanah Alfisol Jumantono, media selektif yang digunakan adalah:

- a. Media Gerretsen (calcium citrate 20 g,  $(NH_4)_2SO_4$  2 g,  $NH_4MgPO_4$  0,01 g,  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$  5 g, agar 20 g, aquadest 1 liter untuk bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  (Bromfield and Skerman, 1950 *cit. Cahyani et al.*, 2008).
- b. Media Stokes (glucose 1 g, peptone 1 g,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0,2 g,  $CaCl_2$  0,05 g,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  0,01 g, agar 12,5 g, aquadest 1 liter) untuk bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strains *Sphaerotilus* sp. (Mulder dan Deinema, 1992 *cit. Cahyani et al.*, 2008), dan
- c. Media Stokes&Rouf (peptone 5 g, Ferric ammonium citrate 0,15 g,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0,2 g,  $CaCl_2$  0,05 g,  $MnSO_4 \cdot H_2O$  0,05 g,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  0,01 g, agar 12 g, tap water 1 liter) untuk bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strains *Leptotrix* sp. (Mulder dan Deinema, 1992 *cit. Cahyani et al.*, 2008).

## 3. Streak Purifikasi

Memilih 1 koloni dari masing-masing kelompok koloni yang sama berdasar morfologi koloni secara visual kemudian disub-kulturkan di media yang baru dengan streak garis lurus sekitar 2-3 cm. Pengamatan tipe oksidasi diamati selama 2 minggu masa inkubasi.

Ada 3 macam tipe oksidasi, yaitu:

- a. Tipe 1, koloni berubah warna menjadi coklat gelap
- b. Tipe 2, koloni tetap, media berubah warna menjadi coklat gelap
- c. Tipe 3, koloni dan media berubah warna menjadi coklat gelap (Cahyani *et al.*, 2008).

## 4. Perbanyak isolat

Memperbanyak masing-masing isolat bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  pada media baru dalam bentuk media agar miring dan media

*commit to user*



cair. Isolat yang tumbuh pada media cair digojog 2 jam tiap hari untuk memperbanyak pembelahan sel bakteri.

#### **5. Pengujian Kemampuan Mengoksidasi Dari Berbagai Komposisi Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$**

Menyiapkan botol gelas untuk uji perlakuan. Botol diisi air tanah sumur PDAM sebanyak 100 ml kemudian menginokulasi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  pada botol perlakuan. Cara aplikasi konsorsium bakteri adalah dengan cara mengambil 1 ml untuk tiap isolat bakteri yang sama kemudian dicampur pada erlenmeyer steril, dari campuran itu diambil 1 ml untuk dimasukkan ke dalam botol perlakuan. Botol perlakuan semua ditutup dengan kertas saring, kemudian dilakukan penggojogan 2 jam tiap hari dan diinkubasi pada temperatur suhu kamar, selama 25 hari.

Karakter bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  terseleksi dicirikan dengan mengamati terbentuknya endapan selama inkubasi. Pada akhir inkubasi dilakukan pengukuran  $Mn^{2+}$  terlarut dan  $Fe^{2+}$  terlarut dan pH  $H_2O$  terlarut. Hasil yang diperoleh digunakan untuk mengetahui konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dalam pemurnian air tanah.

#### **E. Variabel Pengamatan**

Variabel yang diamati:

- a. Konsentrasi  $Mn^{2+}$  terlarut
- b. Konsentrasi  $Fe^{2+}$  terlarut
- c. pH  $H_2O$  terlarut

#### **F. Analisis Data**

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap variabel pengamatan menggunakan uji keragaman (uji F) kemudian dilanjutkan dengan uji DMRT.

*commit to user*

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil Pengamatan Diversitas Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ dan $Fe^{2+}$

Hasil pengamatan diversitas bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari lahan Alfisols Jumantono, dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1. Hasil Pengamatan Diversitas Bakteri Pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari lahan Alfisols Jumantono**

Sumber Isolat	$Mn^{2+}$ tipe 1		$Mn^{2+}$ tipe 2		$Mn^{2+}$ tipe 3		Stokes		Stokes & Rouf	
	Jumlah	Ciri-ciri	Jumlah	Ciri-ciri	Jumlah	Ciri-ciri	Jumlah	Ciri-ciri	Jumlah	Ciri-ciri
Lahan Alfisol s 1	1	• Putih-coklat	2	• Putih-putih • Merah-merah	2	• Kuning-coklat • Bening-coklat	1	• Putih seperti cuttton bud	1	• Kuning karat
Lahan Alfisol s 2	1	• Coklat-coklat	2	• Putih-putih • Putih-coklat	1	• Putih-coklat	1	• Putih seperti cuttton bud	1	• Kuning karat
Air Tanah Alfisol s	0	-	1	• Coklat-coklat	2	• Bening-coklat • Coklat-coklat	1	• Putih seperti cuttton bud	1	• Kuning karat

Sumber : Hasil pengamatan di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, UNS

Hasil pengamatan diversitas bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari lahan Alfisols Jumantono telah ditemukan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1, 2 dan tipe 3 dan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$ . Bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1 pada lahan Alfisols titik 1 berjumlah 1 bakteri. Koloni awalnya berwarna putih dan pada akhir inkubasi berwarna coklat, sedangkan warna media tumbuhnya tetap putih. Pada bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2 berjumlah 2 bakteri. Bakteri pertama koloni awal berwarna putih dan pada akhir inkubasi tetap putih, bakteri kedua koloni awal merah dan pada akhir inkubasi tetap merah, sedangkan media tumbuh berubah menjadi coklat. Bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 berjumlah 2 bakteri. Bakteri pertama koloni awal berwarna bening menjadi coklat, bakteri kedua kuning menjadi coklat dan media tumbuhnya berwarna putih berubah menjadi coklat.

*commit to user*



Pada lahan Alfisols titik 2 telah ditemukan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1 berjumlah 1 bakteri. Koloni awalnya berwarna putih dan pada akhir inkubasi berwarna coklat, sedangkan warna media tumbuhnya tetap putih. Pada bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2 berjumlah 2 bakteri. Bakteri pertama koloni awal bakterinya berwarna putih dan pada akhir inkubasi tetap berwarna putih, bakteri kedua koloni berwarna putih menjadi coklat, sedangkan media tumbuh berubah menjadi coklat. Bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 berjumlah 1 bakteri. Koloni awal berwarna bening kental ada coklat berubah menjadi coklat dan media tumbuhnya berwarna putih berubah menjadi coklat.

Pada air tanah Alfisols telah ditemukan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2 dan tipe 3. Pada bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2 berjumlah 2 bakteri. Koloni awal bakterinya adalah putih dan pada akhir inkubasi tidak berubah warna, sedangkan media tumbuh berubah menjadi coklat. Bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 berjumlah 2 bakteri. Bakteri pertama koloni awal berwarna bening berubah menjadi coklat, bakteri kedua koloni berwarna coklat menjadi coklat dan media tumbuhnya berwarna putih berubah menjadi coklat.

Mekanisme oksidasi  $Mn^{2+}$  secara biologis oleh bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  sehingga menghasilkan warna koloni bakteri, media agar, ataupun keduanya berubah menjadi coklat masih belum diketahui. Belum ada penelitian yang menjelaskan mekanisme oksidasi tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Cahyani *et al.*(2008), menemukan 4 bentuk tipe oksidasi  $Mn^{2+}$  di media agar petridist yang dilakukan oleh bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  yang berasal dari isolat nodul Mn tanah sawah di Jepang. Bentuk tipe oksidasi tersebut antara lain koloni bakteri menjadi coklat (tipe 1), koloni bakteri bagian luar menjadi coklat (tipe 2), seluruh media agar petridist menjadi coklat (tipe 3), dan media agar petridist yang jauh dari bakteri berubah menjadi coklat (tipe 4). Tipe oksidasi bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tersebut masih dalam bentuk hipotesis yang belum dijelaskan mekanisme oksidasi  $Mn^{2+}$  secara biologisnya.

*commit to user*

Untuk bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  pada media Stokes pada penelitian ini ditemukan 1 bakteri strain *Sphaerotilus* yang koloni awal sampai akhir berwarna putih *cutton bud*. Bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  pada media Rouf & Stokes juga ditemukan 1 bakteri strain *Leptothrix* yang warna koloni awal sampai akhir tetap berwarna kuning kekaratan. Jenis bakteri ini didasarkan

Eksplorasi	Tipe Oksidasi	Jumlah	Label Ulangan	Perubahan Koloni	
				awal	akhir
Tanah Alfisol titik 1	1	2	MG.Alf1.AI.-6 a	Putih	coklat
			MG.Alf1.AII.-7 a	Putih	coklat
	2	9	MG.Alf1.BII.-3 b	Putih	depan putih, belakang coklat



oleh kenampakan warna koloni bakteri.

#### B. Hasil Pengamatan Pertumbuhan Isolasi Bakteri Pengoksidasi $\text{Mn}^{2+}$

Hasil pengamatan isolasi bakteri pengoksidasi  $\text{Mn}^{2+}$  disajikan pada tabel berikut:

**Tabel 2. Hasil Pengamatan Isolasi Bakteri Pengoksidasi  $\text{Mn}^{2+}$**

			MG.Alf1.AII.-3 a	Putih	depan putih, belakang coklat
			MG.Alf1.AII.-1 a	Putih	depan putih, belakang coklat
			MG.Alf1.AII.-7 b	Putih	depan putih, belakang coklat
			MG.Alf1.AI.-4	Putih	depan putih, belakang coklat
			MG.Alf1.AII.-4 a	Merah	merah
			MG.Alf1.BII.-5 a	Putih	depan putih, belakang coklat
			MG.Alf1.BII.-3 a	Putih	depan putih, belakang coklat
			MG.Alf1.AI.-2 a	Putih	merah
	3	2	MG.Alf1.AII.-4 b	kuning	coklat
			MG.Alf1.AII.-5 a	bening	bening
Tanah Alfisol titik 2	1	1	MG.Alf2.-1 c	coklat	coklat
	2	2	MG.Alf2.-3 a	putih	putih
			MG.Alf2.-3 c	putih	colat muda
	3	3	MG.Alf2.-1 a	putih	coklat
			MG.Alf2.-1 b	putih	coklat
			MG.Alf2.-3 b	putih	coklat
Air Alfisol	1	3	MG.Air Alf.AII.-7	bening	coklat
			MG.Air Alf.BI.-1	coklat	coklat
			MG.Air Alf.AI.-6	bening	coklat
	2	2	MG.Air Alf.BI.-7	bening	coklat
			MG.Air Alf.AII.-5	bening	coklat

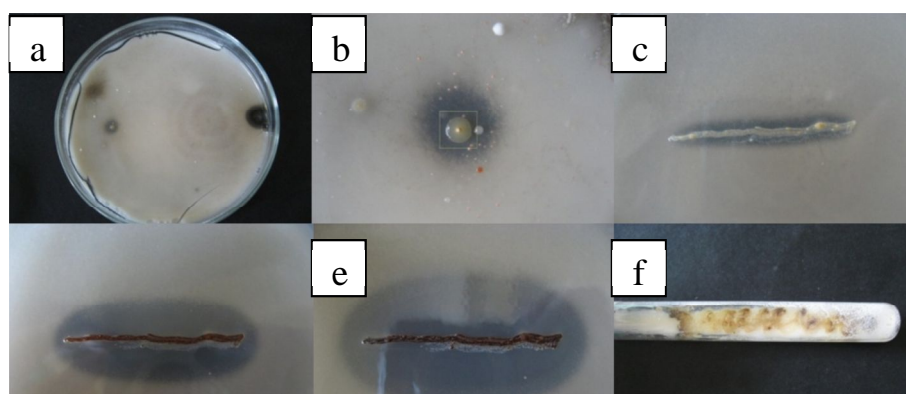
**Sumber : Hasil Pengamatan di Laboratorium Biologi Tanah UNS.**

Hasil pengamatan pertumbuhan koloni bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  pada Tabel 2 menunjukkan bahwa koloni bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  yang ditumbuhkan dari media selektif Gerettsen memiliki tipe yang berbeda-beda dari eksplorasi bakteri lahan Alfisols titik 1, lahan Alfisols titik 2 dan air sumur Alfisols. Seperti pada tipe 1 memiliki ciri bakteri menjadi coklat media tidak berubah warna, tipe 2 yaitu bakteri tetap dan media berubah warna menjadi coklat, serta tipe ke 3 yaitu bakteri dan media berubah menjadi coklat (Cahyani *et al.*, 2008).

Berikut 3 macam tipe oksidasi yang di sub-kulturkan dari media selektif Gerettsen:

#### a. Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Tipe 1

Pertumbuhan bakteri  $Mn^{2+}$  tipe 1 terlihat pada gambar berikut:



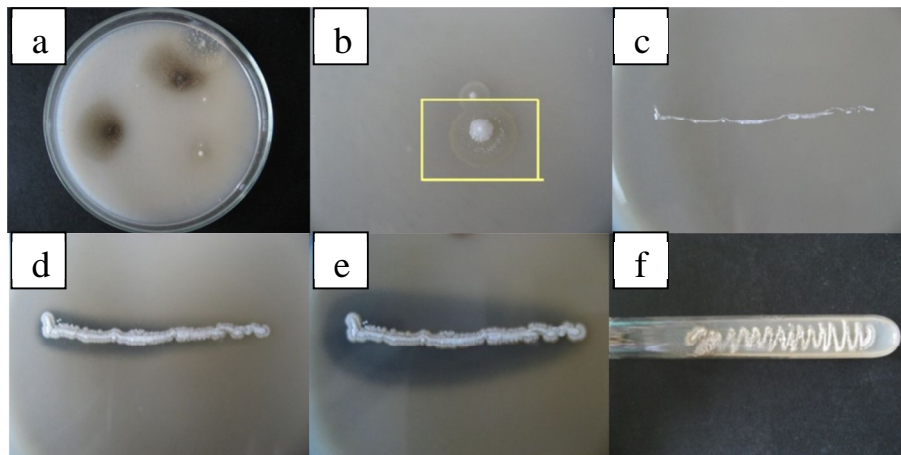
d

**Gambar 1.** Pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1 (MG.Alf1.AI-6a). **Keterangan:** **1.a.** pertumbuhan bakteri pada media Gerretsen **1.b.** koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi, **1.c.** hasil streak pada inkubasi hari ke 3, **1.d.** hasil streak pada inkubasi hari ke 6, **1.e.** hasil streak pada inkubasi hari ke 9, **1.f.** Biakan murni.

Pada Gambar 1.a memperlihatkan pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  yang ditumbuhkan dari media selektif Gerretsen dari eksplorasi lahan Alfisols Jumantono titik 1 seri pengenceran A ulangan I pada pengenceran -6 streak a (MG.Alf1.AI-6a). Diversitas bakteri yang tumbuh pada media isolasi ini dipilih satu persatu koloni yang masing-masing berbeda ciri morfologi dan visualnya untuk distreak purifikasi dan diamati tipe oksidasinya serta pertumbuhannya. Terlihat pada Gambar 1.b, ini adalah koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi. Hasil dari streak purifikasi pada inkubasi hari ke 3 terlihat pada Gambar 1.c, pada inkubasi hari ke 3 ini koloni bakteri berwarna putih susu dan sedikit menampakkan tipe oksidasinya. Dilanjutkan inkubasi hari ke 6 yang terlihat pada Gambar 1.d, koloni bakteri menunjukkan perubahan warna menjadi coklat muda dan mulai terlihat jelas tipe oksidasinya yang tampak pada sekitar koloni bakteri. Kemudian pada inkubasi hari ke 9 seperti yang terlihat pada Gambar 1.e, koloni bakteri mulai menunjukkan perubahan warna menjadi coklat tua dan semakin terlihat jelas tipe oksidasinya. Menurut hasil pengamatan, bakteri ini memiliki ciri-ciri visual morfologi koloni berubah dan media tetap, yang disebut dengan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1. Setelah terlihat jelas morfologi dan tipe oksidasinya, kemudian bakteri ini ditumbuhkan pada biakan murni media agar miring seperti terlihat pada Gambar 1.f dan media cair. Untuk media cair dilakukan penggojogan untuk perbanyak pembelahan sel, penggojogan dilakukan 2 jam dalam 1 hari.

## b. Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Tipe 2

Pertumbuhan bakteri  $Mn^{2+}$  tipe 2 terlihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.** Pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2 (MG.Alf1.BII.-5a). Keterangan: **2.a.** pertumbuhan bakteri pada media Gerretsen **2.b.** koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi, **2.c.** hasil streak pada inkubasi hari ke 3, **2.d.** hasil streak pada inkubasi hari ke 6, **2.e.** hasil streak pada inkubasi hari ke 9, **2.f.** Biakan murni.

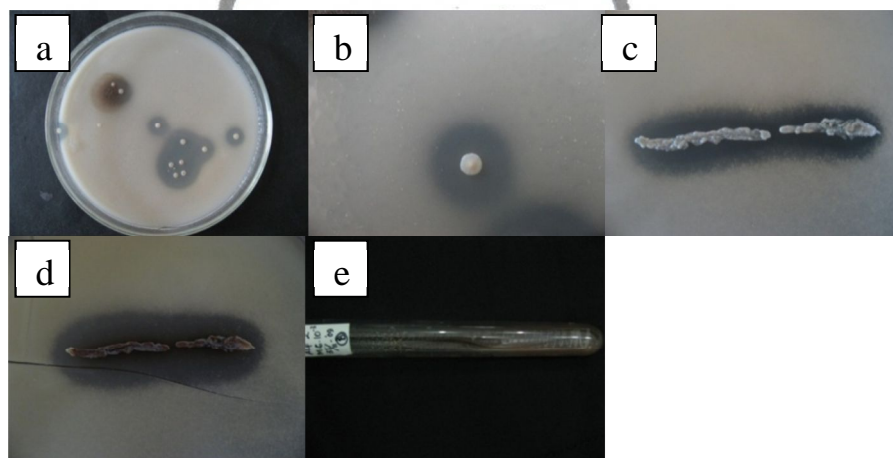
Pada Gambar 2.a memperlihatkan pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  yang ditumbuhkan dari media selektif Gerretsen dari eksplorasi lahan Alfisols Jumantono titik 1 seri pengenceran B ulangan II pada pengenceran -5 streak a (MG.Alf1.BII.-5a). Diversitas bakteri yang tumbuh pada media isolasi ini dipilih satu persatu koloni yang masing-masing berbeda ciri morfologi dan visualnya untuk distreak purifikasi dan diamati tipe oksidasinya serta pertumbuhannya. Terlihat pada Gambar 2.b, ini adalah koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi. Hasil dari streak purifikasi pada inkubasi hari ke 3 terlihat pada Gambar 2.c, pada inkubasi hari ke 3 ini koloni bakteri berwarna putih dan sedikit menampakkan tipe oksidasinya. Dilanjutkan inkubasi hari ke 6 yang terlihat pada Gambar 2.d, koloni bakteri tidak menunjukkan perubahan warna, yaitu tetap putih namun media sedikit berubah menjadi agak kecoklat-coklatan dan mulai terlihat tipe oksidasinya yang tampak pada sekitar koloni bakteri tersebut. Kemudian pada inkubasi hari ke 9 seperti yang terlihat pada Gambar 2.e, koloni bakteri masih tidak menunjukkan perubahan warna namun media berubah menjadi coklat dan penampakan tipe oksidasinya terlihat semakin jelas. Menurut hasil pengamatan, bakteri



ini memiliki ciri-ciri visual morfologi koloni tetap dan media berubah, disebut dengan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2. Setelah terlihat jelas morfologi dan tipe oksidasinya, kemudian bakteri ini ditumbuhkan pada biakan murni media agar miring seperti terlihat pada Gambar 2.f dan media cair. Untuk media cair dilakukan penggojogan untuk perbanyakan pembelahan sel, penggojogan dilakukan 2 jam dalam 1 hari.

### c. Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Tipe 3

Pertumbuhan bakteri  $Mn^{2+}$  tipe 3 terlihat pada gambar berikut:



**Gambar 3.** Pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 (MG.Alf2.AI.-3b). Keterangan: **3.a.** pertumbuhan bakteri pada media Gerretsen **3.b.** koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi, **3.c.** hasil streak pada inkubasi hari ke 6, **3.d.** hasil streak pada inkubasi hari ke 9, **3.e.** Biakan murni.

Pada Gambar 3.a memperlihatkan pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  yang ditumbuhkan dari media selektif Gerretsen dari eksplorasi lahan Alfisols Jumantono titik 2 seri pengenceran A ulangan I pada pengenceran -3 streak b (MG.Alf2.AI.-3b). Diversitas bakteri yang tumbuh pada media isolasi ini dipilih satu persatu koloni yang masing-masing berbeda ciri morfologi dan fisualnya untuk distreak purifikasi dan diamati tipe oksidasinya serta pertumbuhannya. Terlihat pada Gambar 3.b, ini adalah koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi. Hasil dari streak purifikasi pada inkubasi hari ke 6 terlihat pada Gambar 3.c, pada inkubasi hari ke 6 ini koloni bakteri berwarna putih dan sudah menampakkan tipe oksidasinya. Dilanjutkan inkubasi hari ke 9 yang terlihat pada Gambar 3.d, koloni bakteri menunjukkan perubahan warna menjadi coklat tua dan mulai terlihat jelas

tipe oksidasinya yang tampak pada sekitar koloni bakteri. Menurut hasil pengamatan, bakteri ini memiliki ciri-ciri visual morfologi koloni dan media berubah yang disebut dengan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3. Setelah terlihat jelas morfologi dan tipe oksidasinya, kemudian bakteri ini ditumbuhkan pada biakan murni media agar miring seperti terlihat pada Gambar 3.e dan media cair. Untuk media cair dilakukan penggojogan untuk perbanyakkan pembelahan sel, penggojogan dilakukan 2 jam dalam 1 hari.

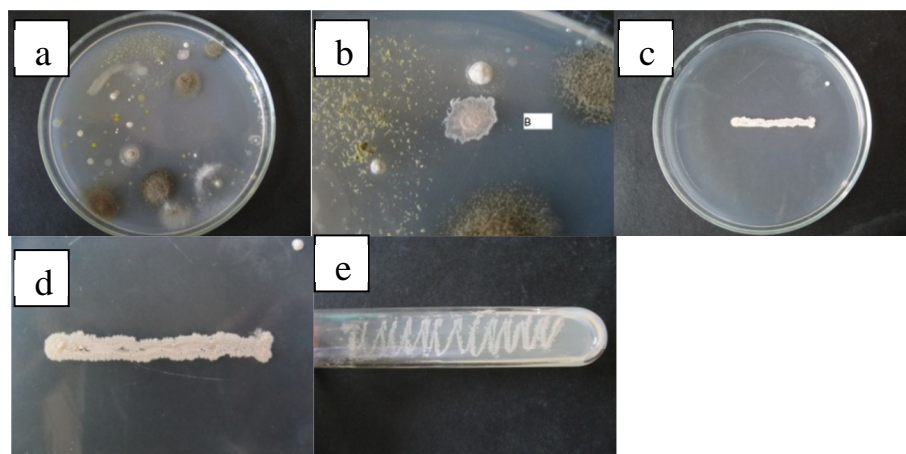
### C. Hasil Pengamatan Bakteri Pengoksidasi $Fe^{2+}$

Media selektif yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. dan strain *Lepthotrix* sp. masing-masing yaitu media Stokes, dan media Stokes & Rouf.

Hasil pertumbuhan koloni bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. dan strain *Lepthotrix* sp. yang ditumbuhkan pada media selektif Stokes dan media Stokes & Rouf dapat dilihat pada gambar berikut:

#### a. Bakteri Pengoksidasi $Fe^{2+}$ strain *Sphaerotilus* sp.

Hasil pertumbuhan koloni bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. yang ditumbuhkan pada media selektif Stokes dapat dilihat pada gambar berikut:



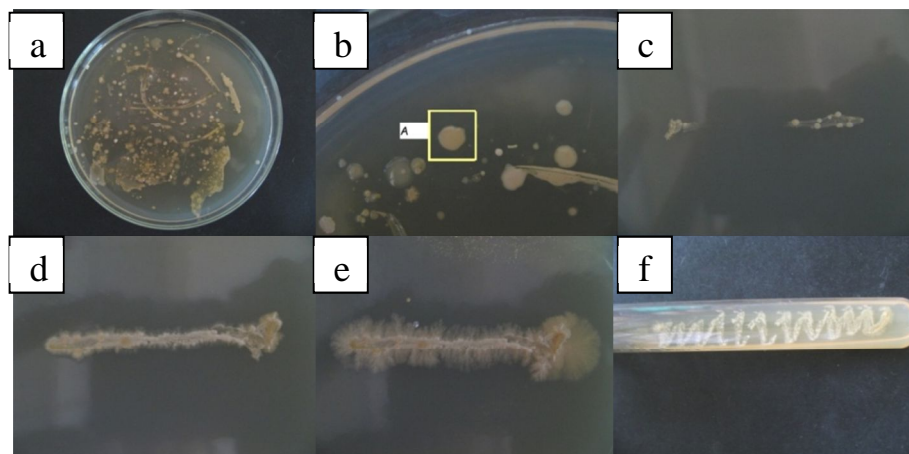
**Gambar 4.** Pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. (MS.A1f1.A.-3b). Keterangan: **4.a.** pertumbuhan bakteri pada media Gerettsen **4.b.** koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi, **4.c.** hasil streak pada inkubasi hari ke 6, **4.d.** hasil streak pada inkubasi hari ke 9, **4.e.** Biakan murni.



Pada Gambar 4.a memperlihatkan pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. yang ditumbuhkan dari media selektif Stokes yang dieksplorasi dari lahan Alfisols titik 1 seri pengenceran A ulangan ke I pengenceran -3 streak b (MS.Alf1.AI.-3b). Diversitas bakteri yang tumbuh pada media isolasi ini dipilih satu persatu koloni yang masing-masing berbeda ciri morfologi dan visualnya untuk distreak purifikasi dan diamati tipe oksidasinya serta pertumbuhannya. Terlihat pada Gambar 4.b, ini adalah koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi. Hasil dari streak purifikasi pada inkubasi hari ke 6 terlihat pada Gambar 4.c, pada inkubasi hari ke 6 ini koloni bakteri berwarna putih seperti *cutton bud*. Dilanjutkan inkubasi hari ke 9 yang terlihat pada Gambar 4.d, koloni bakteri tidak menunjukkan perubahan warna yang artinya bakteri masih berwarna putih seperti *cutton bud*. Setelah terlihat jelas ciri visual dan morfologinya, kemudian bakteri ini ditumbuhkan pada biakan murni media agar miring seperti terlihat pada Gambar 4.e dan media cair. Untuk media cair dilakukan penggojogan untuk perbanyakkan pembelahan sel, penggojogan dilakukan 2 jam dalam 1 hari.

#### b. Bakteri Pengoksidasi $\text{Fe}^{2+}$ strain *Leptothrix* sp.

Hasil pertumbuhan koloni bakteri Pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. yang ditumbuhkan pada media selektif Stokes&Rouf dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.** Pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. (ML.Alf1.AI.-1). Keterangan: **5.a.** pertumbuhan bakteri pada media Gerettsen **5.b.** koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi, **5.c.** hasil streak pada inkubasi hari ke 6, **5.d.** hasil streak pada inkubasi hari ke 9, **5.e.** Biakan murni.

Pada Gambar 5.a memperlihatkan pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. yang ditumbuhkan dari media selektif Stokes & Rouf yang dieksplorasi dari lahan Alfisols titik 1 seri pengenceran A ulangan ke I pengenceran -1 streak a (ML.Alf1.AI.-1a). Diversitas bakteri yang tumbuh pada media isolasi ini dipilih satu persatu koloni yang masing-masing berbeda ciri morfologi dan visualnya untuk distreak purifikasi dan diamati tipe oksidasinya serta pertumbuhannya. Terlihat pada Gambar 5.b, ini adalah koloni bakteri yang dipilih untuk distreak purifikasi. Hasil dari streak purifikasi pada inkubasi hari ke 6 terlihat pada Gambar 5.c, pada inkubasi hari ke 3 ini koloni bakteri sedikit menampakkan ciri morfologi dan visualnya yang berwarna kuning karat. Dilanjutkan inkubasi hari ke 6 yang terlihat pada Gambar 5.d, koloni bakteri tidak menunjukkan perubahan warna yang artinya bakteri masih berwarna kuning karat dan mulai menampakkan ciri morfologinya menurut garis streak. Pada inkubasi hari ke 9 seperti yang terlihat pada Gambar 5.e, bakteri ini sudah terlihat jelas ciri morfologinya yang berbentuk seperti serabut disekelilingnya dan warna kuning karatnya tampak semakin jelas. Pada hari ke 9 ini bakteri mulai ditumbuhkan pada biakan murni media agar miring seperti terlihat pada Gambar 5.f dan media cair. Untuk media cair dilakukan penggojogan untuk perbanyakan pembelahan sel, penggojogan dilakukan 2 jam dalam 1 hari.

#### **D. Hasil Pengamatan Uji Pertumbuhan Jumlah Bakteri Dari Biakan Murni Media Cair Setelah Penggojogan**

Bakteri pengoksidasi  $\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  yang dibiakkan pada media cair masing-masing strain setelah penggojogan selama 21 hari diuji ulang pada masing-masing media yang baru menurut masing-masing strain, dan hasilnya adalah sebagai berikut:

*commit to user*

**Tabel 3. Hasil Pengamatan Uji Pertumbuhan Jumlah Bakteri Dari Biakan Murni Media Cair Setelah Penggojogan**

Bakteri Pengoksidasi	Media	Pengenceran	hari ke 3	hari ke 6	hari ke 9
Mn <sup>2+</sup> tipe 1	Gerettsen	-2	7	8	19
		-3	1	5	5
		-5	0	0	0
Mn <sup>2+</sup> tipe 2	Gerettsen	-2	12	13	20
		-3	3	3	7
		-5	0	2	2
Mn <sup>2+</sup> tipe 3	Gerettsen	-2	31	132	167
		-3	13	19	65
		-5	5	11	13
Fe <sup>2+</sup>	Stokes	-2	32	55	155
		-3	12	19	45
		-5	5	8	9
Fe <sup>2+</sup>	Stokes & Rouf	-2	29	44	121
		-3	10	16	42
		-5	2	4	7

Sumber : Hasil Pengamatan di Laboratorium Biologi Tanah UNS.

Dari hasil pengamatan pertumbuhan bakteri yang tumbuh dari pengenceran -2, -3, dan -5 seperti yang terlihat pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pengenceran -2 memiliki banyak koloni yang tumbuh dibandingkan dengan pengenceran pada -5, hal ini dapat disebabkan karena semakin banyak pengenceran, maka jumlah bakteri yang tumbuh semakin sedikit. Banyak dan sedikitnya bakteri ini sudah dapat membuktikan bahwa uji ulang isolasi bakteri ini adalah positif masih ada bakteri yang hidup didalam media untuk aplikasi selanjutnya.

#### E. Analisis Awal Air Tanah Sumur PDAM Sebelum Perlakuan

Hasil analisis awal air tanah sumur PDAM Surakarta sebelum perlakuan adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. Hasil Analisis Awal Air Tanah Sumur PDAM Surakarta Sebelum Perlakuan**

Parameter	Satuan	Batas Syarat Air Minum	Hasil Analisa
<b>I. FISIKA</b>			
Bau	-	tidak berbau	tidak berbau
Rasa	-	tidak berasa	tidak berasa

Suhu	°C	suhu udara $\pm 3^{\circ}\text{C}$	27,00
Kekeruhan	NTU	5	1,01
Warna	TCU	15	-
<b>II. KIMIA</b>			
pH	mg/l	6,5 – 8,5	7,8
DHListrik	$\mu\text{S/cm}$		452,00
CO <sub>2</sub>	mg/l		8,98
Alkalinitas			
▪ Phenol phtalein	mg/l		0,00
▪ Total	mg/l		343,00
▪ Hidroksida	mg/l		0,00
▪ Karbonat	mg/l		0,00
▪ Bikarbonat	mg/l		343,30
CaCO <sub>3</sub>	mg/l	500	219,61
Ca	mg/l		44,71
Mg	mg/l		26,21
Besi (Fe)	mg/l	0,3	0,42
Mangan (Mn)	mg/l	0,1	0,38
NH <sub>4</sub>	mg/l		0,25
NO <sub>2</sub>	mg/l	3	0,00
Zat Organik	mg/l	10	0,95
Cl	mg/l	250	104,00
SO <sub>4</sub>	mg/l	250	11,43

Keterangan : Analisa Menurut Hasil Uji Laboratorium PDAM Kota Surakarta.

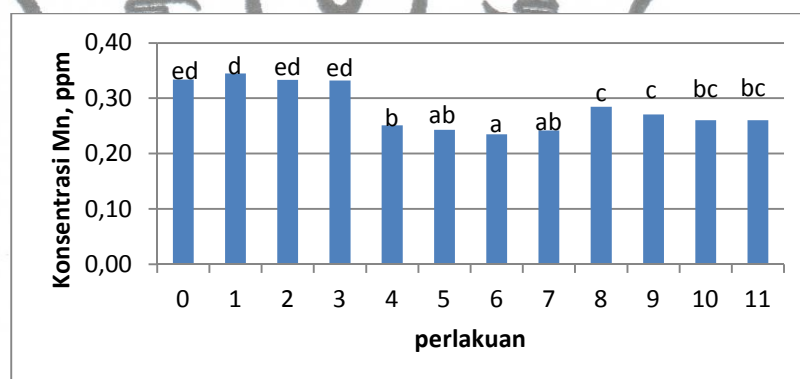
Berdasarkan hasil analisis awal air tanah sumur PDAM Surakarta sebelum perlakuan yang terlihat pada Tabel 4, menunjukkan bahwa air tanah sumur PDAM memiliki konsentrasi besi dan mangan yang melebihi batas syarat air minum sehingga tidak layak digunakan untuk keperluan air minum. Konsentrasi  $\text{Mn}^{2+}$  sebelum perlakuan senilai 0,42 mg/l, dan konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  senilai 0,38 mg/l. Kondisi pH masih dalam batas persyaratan air minum yaitu 7,8. Ambang batas kisaran pH untuk air minum adalah 6,5 – 8,5. Air tanah ini tidak berbau, tidak berasa, tidak berwarna, bersuhu  $27^{\circ}\text{C}$  atau bertemperatur normal, dan tingkat kekeruhannya 1,01 NTU. Sifat kimia lain air tanah ini yaitu daya hantar listrik  $452 \mu\text{S/cm}$ , CO<sub>2</sub> bebas 8,98 mg/l, kadar CO<sub>2</sub> agresif 0 mg/l, kesadahan 219,61 mg/l, kalsium 44,71 mg/l, magnesium 26,21 mg/l, ammonium 0,25 mg/l, nitrit 0 mg/l, zat organik 0,95 mg/l, klorida 104 mg/l, sulfat 11,43 mg/l, dan alkalinitas yang meliputi phenol phtalein 0 mg/l,

hidroksida 0 mg/l, karbonat 0 mg/l, bikarbonat 343,3 mg/l, sehingga totalnya 343,3 mg/l. Pemilihan air tanah dari sumur dalam di Manahan milik PDAM Surakarta ini digunakan sebagai bahan media uji aplikasi bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari tanah sawah Alfisol.

## F. Hasil Pengujian Kemampuan Mengoksidasi Berbagai Komposisi Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Terhadap Konsentrasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Pada Air Tanah

### 1. Pengaruh Perlakuan Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Terhadap Konsentrasi $Mn^{2+}$

Hasil pengujian kemampuan mengoksidasi berbagai komposisi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  terhadap konsentrasi  $Mn^{2+}$  pada air tanah dapat disajikan pada Gambar 6 dibawah ini:



**Gambar 6. Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi  $Mn^{2+}$**

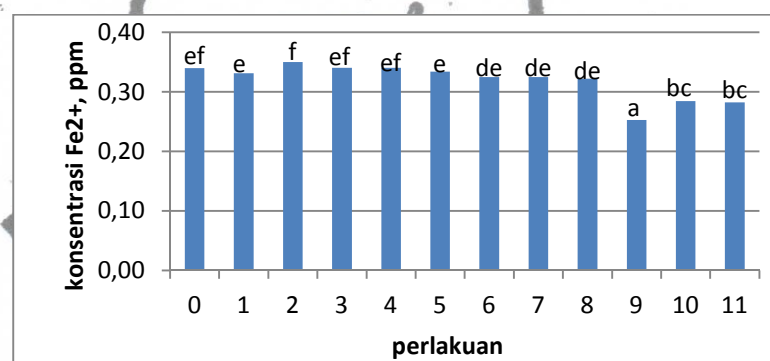
Berdasarkan uji pengaruh (uji F), didapat nilai  $P : 0,000$  ( $P < 0,01$ ) yang berarti perlakuan berpengaruh sangat nyata. Pada Gambar 6 menunjukkan perlakuan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  memberikan pengaruh sangat nyata terhadap konsentrasi  $Mn^{2+}$  pada air tanah. Nilai konsentrasi  $Mn^{2+}$  yang paling rendah dari aplikasi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  terhadap air tanah setelah perlakuan yaitu pada perlakuan air tanah yang diuji dengan konsorsium bakteri Mn tipe 3 (P6) senilai 0,23 mg/l. Dalam hal ini berarti konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 hasil eksplorasi bakteri dari lahan Alfisols Jumantono memiliki kemampuan paling efektif dibanding



dengan perlakuan yang lain dengan ditunjukkan banyaknya  $Mn^{2+}$  yang mengendap berwarna coklat gelap yang terlihat dalam botol perlakuan dan nilai akhir konsentrasi  $Mn^{2+}$  (0,23 mg/l).

## 2. Pengaruh Perlakuan Konsorsium Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Terhadap Konsentrasi $Fe^{2+}$

Hasil pengujian kemampuan mengoksidasi berbagai komposisi konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  terhadap konsentrasi  $Fe^{2+}$  pada air tanah dapat disajikan pada Gambar 7 dibawah ini:



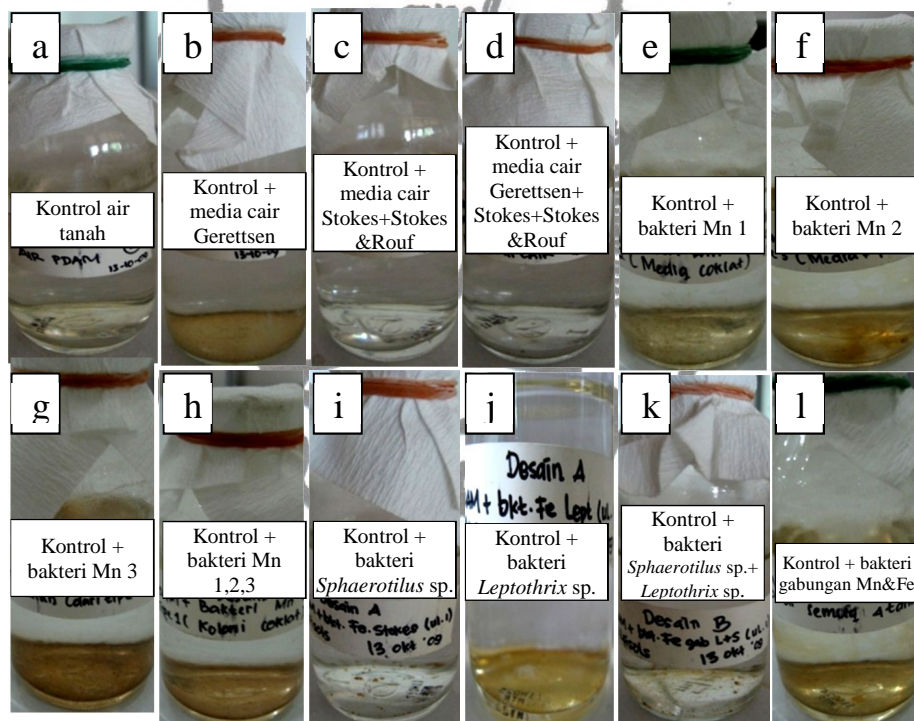
**Gambar 7. Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi  $Fe^{2+}$**

Berdasarkan uji Kruskal-Wallis besarnya pengaruh perlakuan terhadap konsentrasi  $Mn^{2+}$  air tanah adalah  $P : 0,001$  ( $P < 0,01$ ), yang berarti perlakuan berpengaruh sangat nyata. Gambar 7 menunjukkan perlakuan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  memberikan pengaruh sangat nyata terhadap konsentrasi  $Fe^{2+}$  pada air tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi bakteri strain *Leptothrix* sp. (P9) memiliki kemampuan paling efektif dalam menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  dibanding dengan perlakuan yang lain yaitu mampu menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  dari 0,42 mg/l menurun sampai 0,25 mg/l. Nilai akhir penurunan ini sudah memenuhi persyaratan untuk air minum (0,3 mg/l). Penurunan konsentrasi  $Fe^{2+}$  dapat terlihat pada botol perlakuan yang menunjukkan pengendapan  $Fe^{2+}$  berwarna coklat kekuningan seperti warna karat.

### G. Hasil Aplikasi Bakteri Pengoksidasi $Mn^{2+}$ Dan $Fe^{2+}$ Dari Lahan Alfisols Ke Dalam Botol Perlakuan

Hasil aplikasi bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari Lahan Alfisols dalam air tanah pada botol perlakuan dapat dilihat pada Gambar 8 yang menunjukkan perbandingan pengaruh masing-masing perlakuan dalam menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  air tanah pada akhir inkubasi.

Pengendapan mangan dan besi pada botol perlakuan setelah penggojogan hari ke 21 dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini:



**Gambar**

8. Botol perlakuan yang menunjukkan pengendapan mangan dan besi pada air tanah. Keterangan: **8.a.** Kontrol air tanah, **8.b.** Kontrol air tanah dan media cair Gerettsen, **8.c.** Kontrol air tanah dan media cair Stokes dan media cair Stokes&Rouf, **8.d.** Kontrol air tanah dan media cair Gerettsen, media cair Stokes dan media cair Stokes&Rouf, **8.e.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1, **8.f.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 2, **8.g.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3, **8.h.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1,2 dan 3, **8.i.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp., **8.j.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Leptothrix* sp., **8.k.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. dan strain *Leptothrix* sp., **8.l.** Air tanah dan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  gabungan yaitu bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 1, tipe 2, tipe 3 dan bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Sphaerotilus* sp. dan strain *Leptothrix* sp.

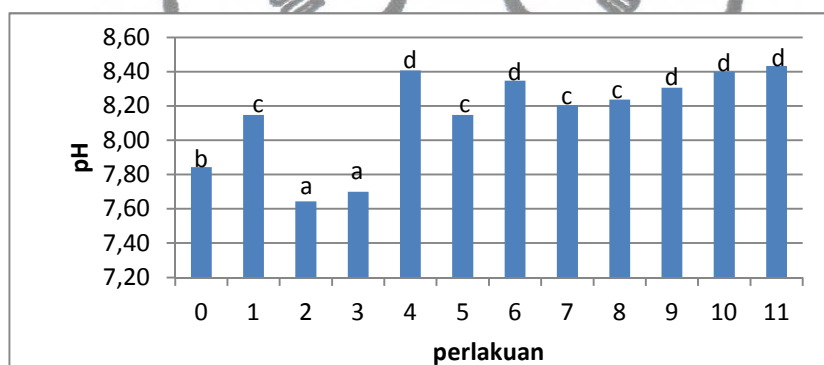
*commit to user*



Dari hasil pengukuran, konsentrasi  $Mn^{2+}$  terlarut paling rendah ditunjukkan pada perlakuan air tanah yang ditambah dengan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3. Pada penelitian ini, konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 memiliki kemampuan paling efektif dalam mengoksidasi mangan dari bentuk larut menjadi tidak larut yang dicirikan adanya pengendapan warna coklat kehitam-hitaman pada botol perlakuan seperti yang terlihat pada Gambar 8.g. Sedangkan untuk konsentrasi  $Fe^{2+}$ , perlakuan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. yang paling efektif mengoksidasi besi dari bentuk larut menjadi tidak larut yang dicirikan adanya pengendapan warna coklat kekuning-kuningan pada botol perlakuan seperti yang terlihat pada Gambar 8.j.

#### H. Hasil Pengaruh Perlakuan Terhadap pH

Aktivitas bakteri dalam menurunkan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dipengaruhi oleh faktor lain seperti pH. Berikut gambar pengaruh perlakuan terhadap pH:



**Gambar 9. Pengaruh Perlakuan Terhadap pH**

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa aktivitas bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  pada penelitian ini mempengaruhi kenaikan pH. pH air tanah menjadi naik, karena pengaruh dari hasil metabolisme tertentu yang dihasilkan oleh bakteri atau secara langsung dikatalis oleh enzim. Menurut uji DMRT pengaruh perlakuan kontrol berbeda nyata dengan perlakuan yang lain.

Bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  dari Lahan Alfisols mampu menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  air tanah, tetapi belum mampu memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Hal ini, dipengaruhi oleh

beberapa faktor, yaitu konsentrasi  $O_2$  air tanah, ketersediaan sumber energi, dan konsentrasi enzim yang dihasilkan oleh bakteri.

$O_2$  diperlukan dalam jumlah besar, karena  $O_2$  berperan dalam respirasi endogenus bakteri (bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  termasuk bakteri aerob yang dapat tumbuh jika  $O_2$  tersedia dalam jumlah yang banyak). Selain itu,  $O_2$  juga esensial dalam reaksi enzim, karena enzim akan mengkatalis  $O_2$  sehingga bereaksi dengan substrat. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Stokes (1953), diperlukan penyekeran/aerasi untuk menambah kadar  $O_2$  dalam media pertumbuhan bakteri selama 3-5 jam. Jika aerasi lebih dari 5 jam maka akan menghancurkan kapasitas sel bakteri untuk mengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$ . Sedangkan pada penelitian ini, aerasi dilakukan selama 2 jam/hari sehingga, suplai  $O_2$  masih dalam jumlah terbatas, yang dapat mengakibatkan proses oksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  terhambat.

Faktor lain yang mempengaruhi yaitu sumber energi. Ketika bakteri diaplikasikan ke dalam botol perlakuan sumber energi bakteri dari media cair jumlahnya terbatas, yaitu kurang dari 1 ml, sehingga untuk masa inkubasi 25 hari sumber energi ini menjadi faktor pembatas untuk pertumbuhan bakteri. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  (terutama oksigen dan sumber energi) belum terpenuhi sepenuhnya, sehingga enzim yang dihasilkan oleh bakteripun terbatas mengaki proses oksidasi berjalan lambat dan berpengaruh pada penurunan kosentrasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  air tanah yang masih belum mampu memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari berbagai perlakuan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang paling efektif menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dalam

pemurnian air tanah adalah P6, yaitu perlakuan air tanah dengan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  tipe 3 mampu menurunkan konsentrasi  $Mn^{2+}$  pada air tanah dari konsentrasi 0,38 mg/l turun sampai 0,23 mg/l.

2. Dari berbagai perlakuan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang paling efektif menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  dalam pemurnian air tanah adalah P9, yaitu perlakuan air tanah dengan konsorsium bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa konsorsium bakteri pengoksidasi  $Fe^{2+}$  strain *Leptothrix* sp. mampu menurunkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  pada air tanah dari konsentrasi 0,42 mg/l turun sampai 0,25 mg/l.

## B. SARAN

Adanya penurunan konsentrasi  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  oleh bakteri pengoksidasi yang belum diketahui besarnya kemampuan mengoksidasi, perlu dilakukan uji aplikasi bakteri dengan perbandingan air tanah dan bakteri untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam menurunkan  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  agar mencapai baku mutu yang ditentukan (kadar maksimum  $Mn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$  yang diperkenankan untuk air minum masing-masing adalah 0,1 mg/l dan 0,3 mg/l)

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R., 2004. *Kimia Lingkungan*. Penerbit ANDI. Yogyakarta. 50-52pp.
- Cahyani VR, Murase J, Ishibashi E, Asakawa S, Kimura M. 2008. *T4-type bacteriophage communities estimated from the major capsid genes (g23) in Mn nodules in Japanese paddy field*. Soils Science and Plant Nutrition, 54, 711-717.
- ..... 2009. *Phylogenetic positions of  $Mn^{2+}$  oxidation bacteria and fungi isolated from Mn nodules in rice field subsoils*. Biology and Fertility of Soils, 45, 337-346.

- Cole, G.A. 1988. *Textbook of Limnology*. Third Edition. Waveland Press, Inc., Illinois, USA. 401 p.
- Departemen Kesehatan RI. *Peraturan Menteri Kesehatan RI No.416/MenKes/Per/IX/1990*. Jakarta: Departemen Kesehatan RI, 1990.
- Effendi, H., 2003. *Telaah Kualitas Air*. Bagi pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan. SK Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No: KEP/MENKLH/I/1988 Tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Kanisius. Yogyakarta. 11 pp.
- Handayanto E. dan K. Hairah, 2007. *Biologi Tanah*. Landasan Pengelolaan Tanah Sehat. Pustaka Adipura. Yogyakarta.
- Hardjowigeno S., H. Subagyo, dan M.L. Rayes., 2005. *Morfologi dan Klasifikasi Tanah Sawah*. [http://balitanah.litbang.deptan.go.id/index.php?option=com\\_content&task=view&id=130&Itemid=58](http://balitanah.litbang.deptan.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id=130&Itemid=58). Diakses tanggal 20 Desember 2009.
- Moore, J.W., 1991. *Inorganic Contaminants of Surface Water*. Springer-Verlag, New York. 334 p.
- Munir, M. 1996. *Tanah-Tanah Utama Indonesia*. Pustaka Jaya. Jakarta.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Ponnamperuma, F.N. 1985. *Chemical kinetics of wetland rice soil relative to soil fertility*. In *Wetland Soils, Characterization, Classification and Utilization*. The Internatio Rice Research Institutute, Manila, Philippines.
- Stokes, J.L. 1953. *Studies On Filamentous Sheathed Iron Bacterium Sphaerotilus Natans*. Department of Bacteriology Indiana University Bloomington. Indiana.
- Sutrisno. 2006. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Penerbit Rineka Cipta Karya. Jakarta
- Watanabe, I. dan P.A. Roger. 1985. *Ecology of flooded ricefields*. pp. 229-243. In *Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization*. International Rice Research Institute, Manila.