

**POPULASI BAKTERI PENGOKSIDASI BESI DAN SULFUR
AKIBAT PENGGENANGAN DAN PENGERINGAN
PADATANAH SULFAT MASAM DI KALIMANTAN SELATAN**

**POPULATION THE BACTERIA INVOLVED IN OXIDIZE IRON AND SULPHUR IS AFFECTED
BY FLOODING AND DRAINING IN ACID SULPHATE SOIL OF SOUTH KALIMANTAN**

Zuraida Titin Mariana, Fakhur Razie, dan Meldia Septiana

Jurusan Tanah Fakultas Pertanian UNLAM
Jl. Jend. A. Yani Km.36 PO Box 1028 Banjarbaru 70714

ABSTRACT

Agricultural of development in tidal land of South Kalimantan specially in acid sulphate soil for the growing feedduring the time only paying attention aspect of soil hidrologi and chemistry. While biological aspect not yet been studied exhaustively, thoughh change of soil chemistry very determining by the oxidizing sulphur and iron bacteria from acid sulphate soil. Therefore, the aim of theresearch was to study the bacteria involved in oxidize S and Fe (Thiobacillus sp dan Thiobacillus ferrooxidans) in acid sulphate soils after treatment flooding and draining on water quality.Result showed that average of population of Thiobacillus sp dan Thiobacillus ferrooxidans bacteria after treatment flooding and draining was $1,50 \times 10^{14}$ - $2,50 \times 10^{14}$ cell/soil grams and $8,33 \times 10^6$ - $2,00 \times 10^7$ cell/soil grams. Population of Thiobacillus sp. and Thiobacillus ferrooxidans bacteria highest seen at the same treatment that is flooding during 2 hour at 25 cm above surface of soil and draining during 22 hours slowly every day during 1 month. Drainage at acid sulfat soil causes population of the bacteria involved in oxidize iron and sulphuric increased.

Key words: Acid sulphate soils, flooding, drainage, Thiobacillus sp, Thiobacillus ferrooxidans.

ABSTRAK

Pengembangan pertanian di lahan pasang surut di Kalimantan Selatan khususnya tanah sulfat masam untuk usaha pertanian tanaman pangan selama ini hanya memperhatikan aspek hidrologi dan kimia tanahnya . Sedangkan aspek biologi belum dikaji secara mendalam, padahal perubahan kimia (kemasaman tanah) sangat di tentukan sekali oleh aktivitas bakteri pengoksidasi pirit yang ada pada tanah sulfat masam. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keberadaan bakteri pengoksidasi besi dan sulfur (*Thiobacillus* sp dan *Thiobacillus ferrooxidans*) pada tanah sulfat masam setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan pada kualitas air tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata populasi bakteri *Thiobacillus* sp. setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan berkisar antara $1,50 \times 10^{14}$ - $2,50 \times 10^{14}$ sel/gr tanah dan rata-rata populasi bakteri *T. ferrooxidans* berkisar antara $8,33 \times 10^6$ - $2,00 \times 10^7$ sel/gr tanah. Populasi bakteri *Thiobacillus* sp. dan *T. ferrooxidans* tertinggi terlihat pada perlakuan yang sama yaitu penggenangan selama 2 jam pada 25 cm di atas permukaan tanah dan pengeringan (drainase) selama 22 jam secara perlahan-lahan setiap hari selama 1 bulan. Pengeringan (drainase) pada tanah sulfat masam menyebabkan populasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur meningkat.

Kata kunci: Tanah sulfat masam, penggenangan, pengeringan, *Thiobacillus* sp, *Thiobacillus ferrooxidans*.

PENDAHULUAN

Lahan sulfat masam menempati wilayah rawa pasang surut air asin/payau yang terbentuk dari endapan marin yang secara khas dicirikan oleh kandungan mineral besi-sulfida berukuran sangat halus (beberapa mikron), yang disebut pirit. Kandungan pirit di tanah rawa pasang surut umumnya rendah, yakni hanya sekitar 0-5%, namun walaupun kadarnya rendah, ternyata di kemudian hari menjadi permasalahan utama yang berat, atau sangat sulit diatasi, apabila tanah rawa dibuka untuk

pertanian. Pada lahan sulfat masam ini, terbentuk tanah sulfat masam yang merupakan tanah liat rawa dan seringkali memiliki lapisan gambut tipis < 20 cm; memiliki lapisan pirit yang belum teroksidasi (bahansulfidik) atau sudah teroksidasi (horison sulfurik) pada kedalaman 0-50 cm (Subagyo, 2006).

Senyawa pirit tidak akan berbahaya bagi tanaman bila dalam suasana anaerob, tetapi dalam kondisi aerob pirit akan segera dirubah menjadi H_2SO_4 dan $Fe(OH)_3$ yang menyebabkan kemasaman yang sangat tinggi sehingga pirit merupakan sumber kemasaman tanah apabila telah

mengalami oksidasi. Menurunnya permukaan air tanah akibat pembuatan saluran drainase primer-sekunder-tercier menyebabkan oksigen masuk ke dalam pori tanah dan akan mengoksidasi pirit membentuk asam sulfat, ion hidrogen dan Fe^{3+} . Apabila oksidasi pirit berlangsung cepat maka akan terbentuk mineral jarosit berupa bercak-bercak karatan berwarna kuning jerami (Dent, 1986; Hicks *et al*, 1999).

Oksidasi senyawa pirit dibantu oleh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Thiobacillus thiooxidans* yang merupakan jasad aerobik dan autotrof (Dent, 1986; Konsten dan Sarwani, 1992; Hakim *et al*, 1986). Kondisi optimum untuk oksidasi pirit sama dengan kondisi optimum untuk oksidasi besi oleh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* yaitu konsentrasi oksigen > 0,01 mole fraksi (1 %), temperatur 5-55°C (optimal 30°C), pH 1,5-5,0 (optimal 3,3). Kemasaman tanah (pH) yang cocok untuk habitat *Thiobacillus ferrooxidans* adalah 1,5-3,5, dengan suhu optimal 30-35°C (Mensvoort and Dent, 1998), namu bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* mampu hidup pada pH 2 – 6 dan mampu mengoksidasi Fe (II) menjadi Fe (III) dan mengoksidasi senyawa-senyawa belerang tereduksi serta memanfaatkan oksidasi ini sebagai sumber energinya, sedangkan bakteri *Thiobacillus thiooxidans* hidup pada lingkungan pH 2 – 5 (Schelegel, 1994).

Berdasarkan penelitian Nurseha (2000) telah ditemukan bakteri yang mampu mengoksidasi besi ferro menjadi besi ferri dalam waktu lebih cepat dibanding secara kimia/abiotik pada ekosistem air hitam di lahan gambut Kalimantan Tengah. Penelitian Mariana, *et al* (2007) menunjukkan bahwa dari 28 contoh-contoh tanah pasang surut di Kalimantan Selatan, diperoleh ada 26 isolat bakteri *Thiobacillus* sp. yang menunjukkan adanya pertumbuhan dimana umur tumbuhnya rata-rata kurang dari sepuluh hari. Pertumbuhan bakteri *Thiobacillus* baik pada tanah teroksidasi dan tereduksi yang diisolasi dari lokasi Kolam Kiri Barambai dan Pinang Habang (Mandastana) Kabupaten Barito Kuala menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dari lokasi pasang surut lain. Disamping itu juga, telah dilakukan pengukuran aktivitas bakteri tersebut dalam menghasilkan sulfat. Pengembangan pertanian di lahan pasang surut di Kalimantan Selatan khususnya tanah sulfat masam untuk usaha pertanian tanaman pangan selama ini hanya memperhatikan aspek hidrologi dan kimia tanahnya. Sedangkan aspek biologi belum dikaji secara mendalam, padahal perubahan kimia (kemasaman tanah) sangat di tentukan sekali oleh aktivitas bakteri pengoksidasi pirit yang ada pada tanah sulfat masam. Isolat yang ditemukan dari hasil penelitian Mariana, Z.T., *et al* (2007) belum dikaji secara

mendalam terhadap perubahan populasi bakteri tersebut bila tanah mengalami oksidasi dan reduksi, sementara pada tanah sulfat masam di lahan pasang surut selalu mengalami proses tersebut akibat pasang surut air laut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keberadaan bakteri pengoksidasi besi dan sulfur (*Thiobacillus* sp dan *Thiobacillus ferrooxidans*) pada tanah sulfat masam setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan pada kualitas air tertentu.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini merupakan percobaan rumah kaca dan laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Unlam Banjarbaru, untuk mengisolasi dan menentukan populasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur pada tanah sulfat masam setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan secara kontinyu dengan intensitas tertentu pada masing-masing kolom tanah. Penelitian ini dilaksanakan bulan Januari s/d Juni 2005.

Bahan dan Alat

Sampel tanah diambil dari daerah pasang di Kecamatan Barambai, Kabupaten Barito Kuala, Propinsi Kalimantan Selatan (GPS : 03°01'29.8" LS dan 114°41'21.1"BT) pada satu titik lokasi yang sudah dianggap seragam keberadaan lapisan pirit. Sampel tanah yang diambil kemudian dimasukkan ke dalam tabung percobaan (pipa PVC berdiameter 3 inci dan panjang 70 cm) setinggi 30 cm dari dasar tabung. Lalu pipa PVC berdiameter 3 inci yang berisi tanah tersebut dimasukkan ke dalam pipa PVC berdiameter 4 inci (ambar 1), kemudian dilakukan penggenangan dan pengeringan sesuai dengan perlakuan (tinggi penggenangan dan waktu penggenangan) pada kualitas air tertentu (pH 7,28 dan daya hantar listrik 1,7 mmhos/cm).

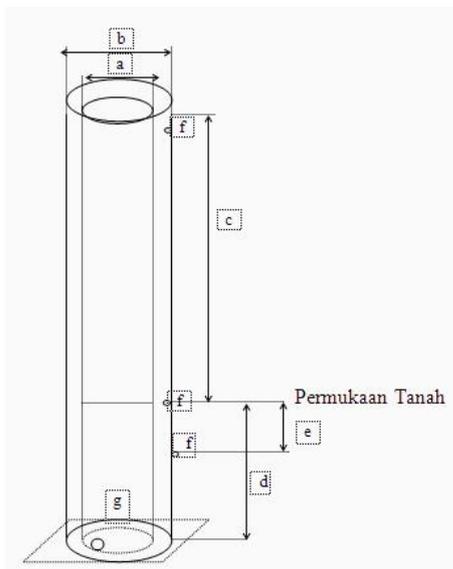
Metode Penelitian

Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 2 faktor. Masing-masing perlakuan terdiri dari 3 ulangan. Dua faktor yang diteliti adalah penggenangan dan pengeringan berdasarkan ketinggian air pasang dan surut serta lamanya saat pasang terjadi, dengan perlakuan sebagai berikut :

1. Tinggi penggenangan
 - G1 = tinggi air 25 cm di atas permukaan tanah
 - G2 = tinggi air 0 cm (tepat di atas permukaan tanah)
 - G3 = tinggi air 15 cm di bawah permukaan tanah
2. Waktu penggenangan
 - W1 = tergenang terus menerus selama 1 bulan

W2 = 2 jam tergenang, 22 jam dikeringkan
 pelan-pelan setiap hari selama 1 bulan
 W3 = 4 jam tergenang, 20 jam dikeringkan
 pelan-pelan setiap hari selama 1 bulan

Setelah perlakuan berakhir dilakukan analisa keberadaan bakteri pengoksidasi sulfur dan besi dengan melakukan isolasi pada medium : (a) Medium tiosulfat agar untuk mengetahui keberadaan bakteri *Thiobacillus sp.* dan (b) Medium padat dengan garam ferro untuk mengetahui keberadaan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Perhitungan jumlah populasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur menggunakan metode mikroskopis langsung dengan pengukuran hemasitometer. Keberadaan populasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan dianalisa secara dekriptif dengan menggunakan diagram batang.



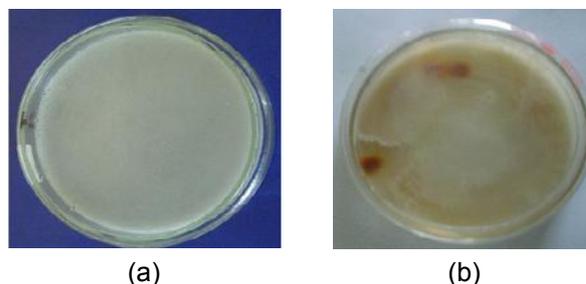
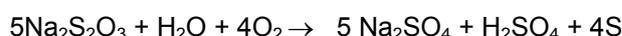
Gambar 1. Penampang tabung percobaan
 Figure 1. Longitudinal section of experiment tube

Ket. Gambar :

- a : Diameter tabung (3 inci) berisi tanah yang digenangi air
- b : Diameter tabung (4 inci) yang diisi air
- c : Tinggi penggenangan 25 cm di atas permukaan tanah
- d : Tinggi penggenangan 0 cm tepat dipermukaan tanah
- e : Tinggi penggenangan 15 cm di bawah permukaan tanah
- f : Lubang pengatur tinggi penggenangan
- g : Lubang pembuangan air

HASIL DAN PEMBAHASAN

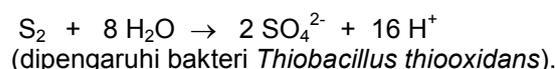
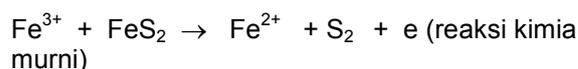
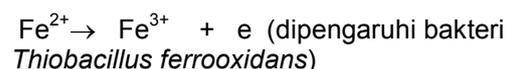
Hasil isolasi bakteri pada semua perlakuan penggenangan dan pengeringan tanah sulfat masam menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri *Thiobacillus sp.* yang juga ditunjukkan dengan perubahan warna media dari bening menjadi putih keruh (Gambar 2a) disebabkan terbentuknya asam sulfat dan endapan sulfur (S^0), sesuai dengan penelitian Untung (1999). Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Nurseha (2000) yang juga menyatakan bahwa akibat pertumbuhan bakteri *Thiobacillus sp.* menunjukkan warna putih keruh. Menurut Untung (1999), reaksi terbentuknya asam sulfat dan endapan sulfur pada media tiosulfat untuk menumbuhkan isolat *Thiobacillus sp.* adalah :



Gambar 2. Pertumbuhan bakteri (a) *Thiobacillus sp.* (b) *Thiobacillus ferrooxidans*
 Figure 2. Growth of bacteria (a) *Thiobacillus sp.* (b) *Thiobacillus ferrooxidans*

Perubahan warna media kuning kehijauan menjadi kuning kecoklatan (warna karat) menunjukkan keberadaan bakteri pengoksidasi besi *Thiobacillus ferrooxidans* (Gambar 2b) dalam mengoksidasi besi ferro (Fe^{2+}) menjadi besi ferri (Fe^{3+}).

Dalam proses oksidasi pirit pada tanah sulfat masam sangat ditentukan oleh adanya bakteri yang bisa mengoksidasi besi dan sulfur di dalam tanah. Reaksi oksidasi yang melibatkan bakteri dapat dijelaskan sebagai berikut :



Berdasarkan analisa pendahuluan sampel tanah (tabel 1.) menunjukkan bahwa tanah di lokasi pasang surut tipe B Kecamatan Barambai Kabupaten Barito Kuala Propinsi Kalimantan Selatan tergolong sangat masam dengan pH 3,66. Lingkungan seperti ini merupakan habitat bakteri pengoksidasi pirit(Schelegel, 1994). Bakteri pengoksidasi pirit adalah organisme yang hidup dalam media yang relatif bersifat masam. Organisme ini telah berevolusi agar mampu mengeksploitasi lingkungan-lingkungan asam yang terjadi secara alami, sehingga memberikan potensi untuk perkembangan dan pertumbuhan selnya. Tipe lingkungan asam ini biasanya berasosiasi dengan deposit-deposit pirit FeS₂ atau S.

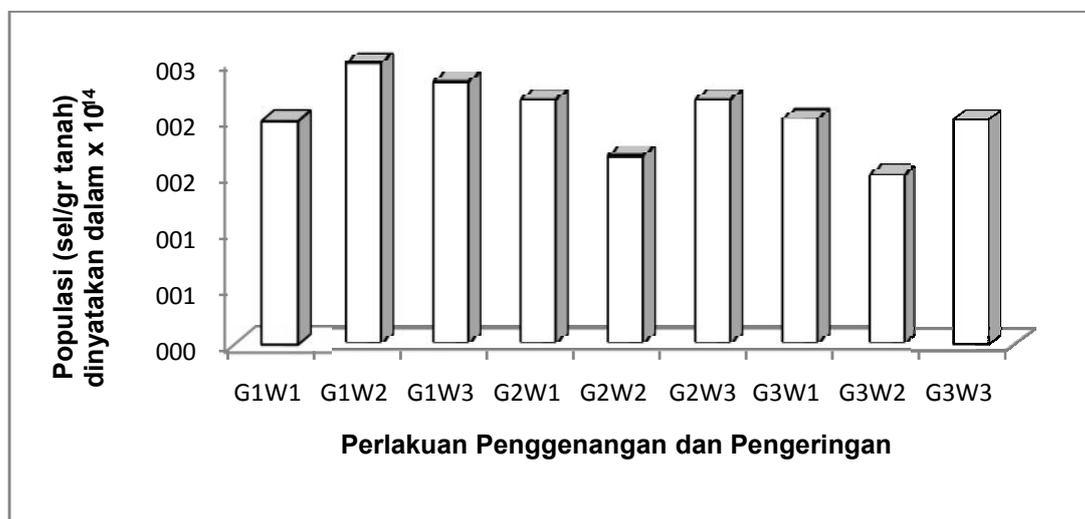
dan rata-rata populasi bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* berkisar antara $8,33 \times 10^6$ - $2,00 \times 10^7$ sel/gr tanah (gambar 3 dan 4). Pengaruh perlakuan penggenangan 25 cm di atas permukaan tanah selama 2 jam tergenang dengan 22 hari dikeringkan (drainase) setiap hari (G1W2) dan penggenangan selama 4 jam dengan 20 hari dikeringkan setiap hari selama satu bulan (G1W3) menunjukkan populasi *Thiobacillus* sp.dan *T. ferrooxidans* lebih tinggi dibandingkan penggenangan 25 cm di atas permukaan tanah selama 1 (satu) bulan (G1W1). Hal ini menunjukkan bahwa ketika tanah dalam keadaan reduksi kemudian mengalami oksidasi melalui drainasetanah maka populasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur menjadi bertambah. Namun penggenangan tepat di atas permukaan tanah (G2) dan 15 cm di bawah permukaan tanah (G3) dengan 4 jam tergenang dengan 20 hari dikeringkan (W3) setiap hari selama satu bulan tidak menunjukkan pertambahan populasi *Thiobacillus* sp.Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang sudah mengalami oksidasi (penggenangan tepat di atas permukaan tanah (G2) dan 15 cm di bawah permukaan tanah (G3)), walaupun tiap hari digenangi seperti kondisi semula dan dikeringkan secara perlahan-lahan setiap hari (oksidasi kembali) maka tidak menyebabkan pertambahan populasi *Thiobacillus* sp.

Tabel 1. Sifat kimia dan biologi tanah tanah sulfat masamdi Kalimantan Selatan

Table 1. Chemical and biological characteristics inacid sulphate soil of South Kalimantan .

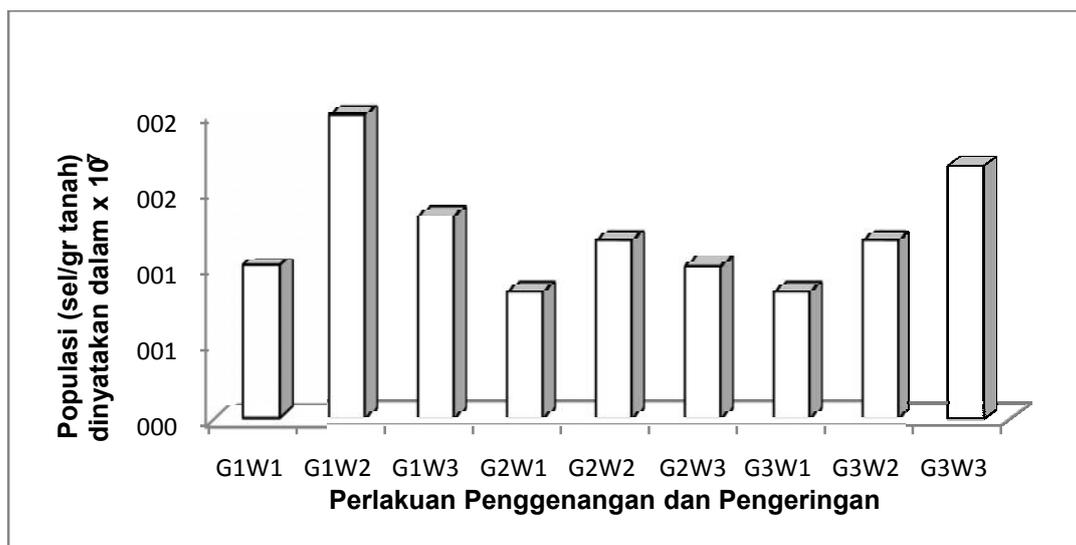
Sifat Tanah	Nilai
pH	3,66
SO ₄ ²⁻ terlarut (ppm)	1337,55
<i>Thiobacillus</i> sp. (sel/gr tanah)	$2,5 \times 10^{14}$
<i>T. ferrooxidans</i> (sel/gr tanah)	1×10^7

Rata-rata populasi bakteri *Thiobacillus* sp. setelah perlakuan penggenangan dan drainase berkisar antara $1,50 \times 10^{14}$ - $2,50 \times 10^{14}$ sel/gr tanah



Gambar 3. Populasi bakteri *Thiobacillus* sp. setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan pada tanah sulfat masam.

Figure 3. Population of *Thiobacillus* sp. bacteria after treatment flooding and draining in acid sulphate soils.



Gambar 4. Populasi bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* setelah perlakuan penggenangan dan pengeringan pada tanah sulfat masam.

Figure 4. Population of *Thiobacillus ferrooxidans* bacteria after treatment flooding and draining in acid sulphate soils.

Populasi bakteri *Thiobacillus* sp. lebih tinggi daripada populasi bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* pada semua perlakuan penggenangan dan pengeringan (Gambar 3 dan 4). Populasi bakteri *Thiobacillus* sp. dan *Thiobacillus ferrooxidans* tertinggi terlihat pada perlakuan yang sama, yaitu penggenangan selama 2 jam pada 25 cm di atas permukaan tanah dan pengeringan selama 22 jam secara perlahan-lahan (G1W2). Hal ini diduga dengan pengeringan tanah menyebabkan bakteri tersebut dapat mengambil oksigen yang masuk ke dalam tanah lebih banyak dibandingkan perlakuan yang lain sehingga populasinya bertambah. Kehadiran oksigen di dalam tanah adalah penting bagi kehidupan mikroba. Oksigen tidak saja diperlukan untuk respirasi, tetapi juga penting untuk kelangsungan reaksi oksidasi kimia dan atau biologi di dalam tanah sehingga akan mempengaruhi terhadap pertumbuhan mikroba. Dampak adanya oksigen yang terlarut dalam air tanah tersebut mengakibatkan pirit yang ada dalam tanah teroksidasi sehingga menghasilkan besi ferri (Fe^{3+}) dan sulfat (SO_4^{2-}).

Di samping itu, bakteri *Thiobacillus* sp. dan *Thiobacillus ferrooxidans* bersifat khemoautotrof yaitu organisme yang memperoleh energi dari oksidasi senyawa anorganik dan menggunakan CO_2 sebagai sumber utama karbon (Nordstrom, 1982; Mansur Ma'shum, et al. 2003; Handayanto dan Hairiah, 2007). *Thiobacillus ferrooxidans* mampu mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dan mengoksidasi senyawa-senyawa sulfur tereduksi serta memanfaatkan oksidasi ini sebagai sumber

energinya.

Sumber belerang dalam tanah sulfat masam berasal dari pirit (FeS_2). Selama proses pelapukan, S-dalam pirit dioksidasi menjadi bentuk S-SO_4 . Dalam bentuk S-anorganik inilah, belerang diasimilasi oleh bakteri *Thiobacillus* sp yang selanjutnya diinkorporasikan dalam jaringan tubuhnya (biomassa) yang dikenal dengan proses immobilisasi. Selanjutnya ketika S-organik masuk ke dalam tanah akan terurai kembali melalui proses mineralisasi dan menjadi sumber utama S bagi pertumbuhan tanaman dan bakteri *Thiobacillus* sp itu kembali.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada semua perlakuan baik pada tanah yang mengalami oksidasi ataupun reduksi (tergenang terus menerus selama 1 bulan pengamatan) masih terdapat populasi bakteri *Thiobacillus* sp dan *Thiobacillus ferrooxidans*. Hal ini menunjukkan bahwa kedua bakteri ini mampu hidup dan berkembang pada kondisi oksigen yang rendah. Menurut Pronk et al (1990), bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri gram negatif, aerobik dan khemolitotrof obligat. Namun jika kita lihat berdasarkan atas dasar reaksi mikroorganisme terhadap oksigen (adanya pengeringan tanah), maka dapat diduga bahwa kedua bakteri tersebut bersifat mikroaerofil (organisme aerob obligat yang berkembang baik pada kandungan oksigen yang rendah). Wako et al. (1984) dan Jaynes et al. (1984) dalam Mensvoort and Dent (1998) menyebutkan bahwa kondisi optimum untuk oksidasi pirit sama dengan kondisi

optimum untuk oksidasi besi oleh *Thiobacillus ferrooxidans* yaitu konsentrasi oksigen > 0,01 mole fraksi (1 %). Pada tanah yang mengalami reduksi (tergenang terus menerus selama 1 bulan pengamatan) tetapi konsentrasi oksigennya masih lebih dari 1% maka masih ditemukan adanya populasi kedua bakteri tersebut. Bila tanah digenangi difusi gas ke dalam massa tanah terputus, namun masih ditemukan adanya lapisan oksidasi pada tanah tergenang (0,5 – 10mm) tergantung jumlah oksigen yang larut pada tanah tergenang.

SIMPULAN

1. Rata-rata populasi bakteri *Thiobacillus* sp. setelah perlakuan penggenangan dan drainase (pengerinan secara perlahan-lahan) berkisar antara $1,50 \times 10^{14}$ - $2,50 \times 10^{14}$ sel/gr tanah dan rata-rata populasi bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* berkisar antara $8,33 \times 10^6$ - $2,00 \times 10^7$ sel/gr tanah.
2. Populasi bakteri *Thiobacillus* sp. dan *Thiobacillus ferrooxidans* tertinggi terdapat pada perlakuan yang sama yaitu penggenangan selama 2 jam pada 25 cm di atas permukaan tanah dan pengerinan selama 22 jam secara perlahan-lahan selama 1 bulan (G1W2).
3. Tanah sulfat masam yang mengalami pengerinan (drainase) menyebabkan populasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Dent, D. 1986. Acid Sulphate Soils : A Baseline for Research and Development. Wageningen
- Hakim. N., M. Yusuf Nyakpa, A.M. Lubis, Sutopo Ghani Nugroho, M. Amin Diha, Go Ban Hong, H.H. Bailey. 1986. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Penerbit Universitas Lampung.
- Handayanto E and K, Hairiah. 2007. Biologi Tanah: Landasan Pengelolaan Tanah Sehat. Pustaka Adipura. Yogyakarta.
- Hicks W.S., G.M. Bowman and R.W. Fitzpatrick. 1999. East Trinity acid sulfate soils Part 1 : Enviromental hazards. Technical Report 14/99. CSIRO Land and Water. Queensland.
- Konsten, C.J.M. and M. Sarwani. 1992. Actual and potential acidity and related chemical characteristics of acid sulphate soils in Pulau Petak, Kalimantan. In Workshop on Acid Sulphate Soil in the Humid Tropic. Bogor. Indonesia.
- Mariana, Z.T., F. Razie, M. Septiana. 2007. Aktivitas bakteri asidofil pengoksidasi besi dan sulfur pada lahan pasang surut Kalimantan Selatan. *Jurnal Agritek* 15 (4)
- Mansur Ma'shum, Joedoro Soedarsono, dan Lolita Endang Susilowati. 2003. Biologi Tanah. CPIU Pasca IAEUP Bagpro Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Mensvoort MEF van and Dent DL. 1998. Acid Sulphate Soils. In. Lal R, Blum WH, Valintine C, and Stewart BA.(Ed). Method for Assesement of soil Degradation. Florida.
- Nordstrom, D. K. 1982. Aqueous pyrite oxidation and the Consequent Formation of Secondary Iron Minerals. In Acid Sulfate Weathering. SSSA Special Publication Number 10. Published by the Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Nurseha. 2000. Isolasi dan uji aktivitas bakteri asidofil pengoksidasi besi dan sulfur dari ekosisten Air Hitam. Program Studi Ilmu Tanah. Progran Pasca Sarjana Institute Pertanian Bogor. Bogor.
- Pronk J.T., R. Meulenberg, W. Hazeu, P. Bos and J.G. Kuenen. 1990. Oxidation of reduced inorganic sulphur compounds by acidophilic thiobacilli. *FEMS Microbiology Reviews* 75. Netherlands.
- Schlegel, H.G and Karin Schmidt. 1994. Mikrobiologi Umum. Terjemahan Prof. Dr. R.M. Tedjo Baskoro. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Subagyo H. 2006. Klasifikasi dan Penyebaran Lahan Rawa. Dalam Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor.
- Untung, S.R. 1999. Isolating *Thiobacillus ferrooxidans* from the Cikotok Gold Mine for leaching purposes. *Indon. Min. J.* 5(2) : 54-60