



Reduksi Sulfat oleh Bakteri Termofilik dari Air Panas Sarongsong Kota Tomohon

Frity Lisa Taroreh¹, Ferry F. Karwur^{1,2}, Jubhar C. Mangimbulude^{3*}

¹Program Pascasarjana Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana

²Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Satya Wacana

³Program Studi Manajemen Perairan, Fakultas Ilmu Alam dan Rekayasa Teknologi, Universitas Halmahera Tobelo.

*Korespondensi : PPs Magister Biologi UKSW, Jl. Diponegoro no. 52-60 Salatiga 50714

E-mail : christianjubhar@yahoo.com

Abstract

Sulfate Reducing Bacteria (SRB) is very useful in the process of soil bioremediation as the former colliery land and contaminated heavy metal soil. The purpose of this research are to determine the content of sulfate in Sarongsong hot spring and determine the activity of SRB (anaerobic conditions) in three different stations. The sample in this study were drawn from Sarongsong hot spring Tomohon at three different stations, and are grouped in two groups: aerobic and anaerobic. This research was conducted in the laboratory of biological master CARC SWCU, Salatiga. The results of measurements performed after 7 days treatment. From three sampling stations Sarongsong hot spring; S1 S2, S3 were obtained that the sulfate content in the S3 is the largest 35 mg / L, followed by S2 11 mg / L and S1 3.5 mg / L. Sulfate reduction levels ranging from S1, S2, S3 conducted by SRB after 7 days treatment in a row is 185 mg/L; 191mg/L; and 197 mg/L. Station three (S3) has amount of sulfate reducing morethan S1 and S2. The results of this research provide information that Sulfate Reducing Bacteria is in Sarongsong hot spring Tomohon.

Keywords : sulfate reducing, thermophilic bacteria

1. Pendahuluan

Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) atau *Sulphate Reduction Bacteria* merupakan salah satu mikrobia penting. Bakteri ini ditemukan hampir di semua lingkungan di bumi: tanah; air tawar, air laut dan air payau, sumber air panas, daerah geothermal; sumur minyak dan gas, cadangan sulfur, endapan lumpur, selokan, besi berkarat, rumina kambing dan usus serangga (Postgate, 1984). Hidupnya obligat anaerob, namun dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama pada kondisi aerasi yang baik bila tersedia nutrisi yang berlimpah.

Berdasarkan morfologi dan metabolismenya, BPS dibagi ke dalam 8 genus, yaitu *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonas*, *Desulfotobacter*, *Desulfolobus*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, dan *Desulfosarcina* (Freeney & Boonjawat, 1983). Mereka hidup optimal pada temperatur 25-40⁰C, namun beberapa spesies dapat hidup dalam rentang temperatur 4-75⁰C. Walaupun BPS umumnya lebih suka berada dalam lingkungan yang agak basa (Jalaludin, 2005), mereka dapat pula berkembang dalam lingkungan dengan rentang pH 5,5-8,5.

Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) memanfaatkan energi dari reduksi sulfat menjadi sulfida. Reduksi sulfat menghasilkan *hydrogen sulfide* (H₂S). H₂S tersebut berguna untuk mengendapkan Cu, Zn, Cd sebagai metal sulfide (Hanafiah, 2004). Di daerah tambang, gas ini akan berikatan dengan logam-logam yang banyak terdapat pada lahan bekas tambang dan dipresipitasikan dalam bentuk logam sulfide yang reduktif (Hards and Higgins, 2004).

Dalam melakukan reduksi sulfat, BPS menggunakan sulfat sebagai sumber energi yaitu sebagai akseptor elektron dan menggunakan bahan organik sebagai sumber karbon (C). Karbon tersebut berperan sebagai donor elektron dalam metabolisme juga merupakan bahan penyusun selnya (Groudev *et al.*, 2001). Sedangkan menurut Djurle (2004) BPS menggunakan donor elektron H₂ dan sumber C (CO₂) yang dapat diperoleh dari bahan organik. Reduksi sulfat dapat terjadi dalam kisaran nilai pH, tekanan, suhu dan kondisi salinitas yang luas. Reduksi sulfat dapat dihambat dengan adanya oksigen, nitrat dan ion *ferric*. (Nenny, 2006). Reaksi reduksi sulfat oleh BPS (Djurle (2004) adalah sebagai berikut :



Dari reaksi tersebut terlihat bahwa pada proses reduksi ion sulfat, bukan hanya H_2S yang dilepaskan tetapi juga ion hidroksil (OH^-). Semakin banyak ion sulfat yang direduksi maka semakin banyak juga ion OH^- yang dihasilkan sehingga pH akan semakin meningkat.

Peran BPS dapat diterapkan antara lain untuk pengolahan AAT (Air Asam Tambang) untuk mengurangi pencemaran lingkungan seminimal mungkin; mendekontaminasi sulfat dan menurunkan konsentrasi logam melalui proses pengendapan logam (Callander and Barford, 1983). BPS juga telah didemonstrasikan untuk bioremediasi tanah bekas tambang batu bara (Widyati Eny, 2007).

Berbagai penelitian telah berhasil membuktikan kehadiran bakteri pereduksi sulfat di sumber air panas yang mengandung sulfur, seperti hasil penelitian Suhartanti (2004) di air panas Kamojang, Jawa Barat dan Alawiyah Tuty (2007) di air panas Gedong Songo yang menemukan adanya bakteri pereduksi sulfat yang juga dapat mereduksi besi(III). Di alam BPS sering berasosiasi dengan BPB (*iron reduction bacteria*) dalam melaksanakan bioremediasi lingkungan. Keduanya dapat dijumpai di lingkungan yang tanpa oksigen. Jika bakteri pereduksi sulfat menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron, bakteri pereduksi besi menggunakan besi(III) sebagai akseptor elektron terminal (Luef Birgit et al., 2013).

Mata air panas bumi merupakan '*lambung mikrobial yang bermanfaat*'. Salah satu '*lambung mikrobial*' di kota Tomohon, Sulawesi Utara adalah air panas Sarongsong. Karakteristik air panas Sarongsong yang mengandung sulfat sebagaimana terlihat dari warna airnya yang keruh dan bau telur busuk-nya. Warna air yang keruh dan bau telur busuk merupakan indikator adanya gas hidrogen sulfida (H_2S) (Casey et al., 2006). Kehadiran sulfat di daerah itu juga dibuktikan dengan hasil pengukuran kadar sulfat di dua titik (LHD-05 dan LHD-23) di geotermal Lahendong yang berjarak ± 1.13 s/d 2.05 km (ditaksir menggunakan *google earth map*—km) dari pusat geotermal lahendong, yakni danau Linauw. Pengukuran kadar sulfat di dua lokasi itu didapati sebanyak 6,9-27,4 mg/L di LHD-05 dan 537-1609 mg/L di LDH-23 (Keserovic, 2014). Data tersebut diatas memberikan indikasi kuat tentang keberadaan BPS termofilik di geotermal Sarongsong, dan karena hingga kini belum banyak penelitian tentang BPS di lokasi itu, maka dirasa perlu untuk mengkaji kehadiran BPS-nya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan sulfat di air panas Sarongsong serta mengetahui aktivitas BPS (kondisi anaerob) di tiga stasiun berbeda.

2. Bahan dan Metode

Pengambilan Sampel. Sampel air panas pada penelitian ini diambil di 2 titik berbeda di lokasi sumber air panas Sarongsong, kota Tomohon dengan 3 cara pengambilan sampel, yang selanjutnya disebut stasiun satu (S1), stasiun dua (S2) dan stasiun tiga (S3). Lihat Gambar 1. Lokasi titik 1 adalah kolam air panas tempat pengambilan air minum. Di titik 1 ini diambil S1 dan S2 dengan pengambilan berbeda. S1 adalah sampel air panas bagian atas yang jernihnya, S2 adalah sampel air panas yang agak keruh (*mix*). S3 diambil di lokasi titik 2 yaitu air panas diluar kolam tempat pengambilan air minum, yang airnya paling keruh. Dari setiap stasiun S1, S2, S3 diambil sekitar 600mL sampel dan dimasukkan dalam botol plastik air minum kemasan, ditutup rapat, diberi label (S1/S2/S3), dibungkus dengan kantong plastik hitam, kemudian dibawa ke laboratorium CARC. Di laboratorium CARC sampel disimpan dalam oven pada temperatur $60^{\circ}C$ sebelum dianalisa lebih lanjut.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di air panas Sarongsong

Penentuan Kandungan Sulfat (awal). Untuk menentukan kandungan sulfat awal dimasing-masing stasiun diambil 10 mL sampel air dari setiap stasiun (S1, S2, S3) dan diencerkan dengan akuades sampai volume 100mL kedalam labu takar. Isi labu takar kemudian dipindahkan ke beker gelas 250 mL, ditambahkan 20 mL buffer A (dibuat dari 15 g $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, 2,5 g $CH_3COONa \cdot 3H_2O$, 0,5 g KNO_3 , 250 mL H_2O , dan ditambahkan akuades sampai volume menjadi 500mL). Didalam beker gelas tersebut diletakkan magnet pengaduk kemudian dilakukan pengadukan secara konstan dengan stirrer. Saat pengadukan, ditambahkan 0,03 g $BaCl_2$ dan segera diatur waktu pengadukan 60 detik dengan kecepatan konstan. Setelah pengadukan selesai, 5 menit kemudian, larutan dituang kedalam kuvet dan diukur turbiditas larutan pada 420 nm dengan spektrofotometer. Prosedur ini dilakukan untuk setiap pengukuran kandungan sulfat awal di S1, S2, S3.



Pengujian aktivitas reduksi sulfat dan kontrol (oksidasi). Setelah mengetahui kandungan sulfat awal sampel dari masing-masing stasiun S1, S2, S3, sampel tersebut digunakan sebagai sumber inokulum BPS untuk menguji aktivitas reduksi sulfat. Dari masing-masing S1,S2,S3 diambil 40mL sampel air panas dimasukkan dalam labu erlenmeyer/botol kaca, pH medium diatur menjadi netral dengan cara menambahkan 0,1 M HCl atau 0,1 M NaOH, dan ditambahkan 200mg sulfat dan 200mg asam asetat (modifikasi dari referensi). Masing-masing kultur (*anaerob*) diekspose dengan gas nitrogen selama berapa lama untuk menciptakan suasana anaerobik. Kultur diinkubasi dalam waterbath pada temperatur 60°C selama 7 hari. Untuk kontrol, prosedurnya sama seperti pengujian aktivitas reduksi sulfat, tetapi di dalam medium tidak ditambahkan sulfat dan asam asetat dan tidak diekspose dengan gas nitrogen tetapi dibiarkan dalam kondisi mikroaerofil. Pengukuran sulfat selanjutnya menggunakan prosedur yang sama dengan prosedur pengukuran sulfat diawal penelitian, dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 420nm, diplotkan hubungan konsentrasi dan absorbansi masing-masing kelompok (*aerob/anaerob*). Pengukuran sulfat (akhir) dilakukan pada hari ke-7 setelah perlakuan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hidrokimia sampel air panas yang diambil dari S1,S2, dan S3 dapat dilihat dari karakteristik warna air, bau, padatan terendap, suhu, konsentrasi sulfat dan pH. Pada stasiun satu (S1): warna airnya jernih, sedikit bau busuk, tidak ada padatan terendap, sementara pada stasiun dua (S2): warna airnya keruh, sedikit berbau busuk, padatan terendapnya sedikit, dan pada stasiun tiga (S3): warna airnya sangat keruh, sangat berbau telur busuk, padatan terendap banyak. Konsentrasi sulfat pada tiga stasiun bervariasi, pada S1 lebih kecil dibandingkan S2 dan S3. Sementara untuk temperatur relatif sama pada ketiga stasiun, dan pH di S3 bersifat asam dibandingkan dengan S2 dan S1 yang cenderung netral (Lihat Tabel 1).

Tabel 1. Hidrokimia di S1, S2, S3 dan Konsentrasi sulfat awal

Stasiun	Warna air	Bau telur busuk	Padatan terendap	Konsentrasi Sulfat awal (mg/L)	pH	T (°C)
S1	jernih	sedikit	-	3,5	8,33	60
S2	keruh	bau	sedikit	10,94	7,73	60
S3	sangat keruh	sangat berbau	banyak	34,95	3,34	56

Dari data hidrokimia pada Tabel 1, terlihat bahwa ada hubungan erat antara konsentrasi sulfat dengan pH. Semakin rendah pH maka konsentrasi sulfat akan semakin besar. Dari hasil pengukuran, stasiun tiga (S3) yang pH-nya paling rendah (pH=3,34) memiliki kandungan sulfat yang paling besar (34,95 mg/L) dibandingkan dari S2 dan S1. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Keserovic (2014) di ± 1.13 s/d 2.05 km dari area air panas Sarongsong, tepatnya di Geotermal Lahendong, dimana hasil pengukuran sulfat di 2 lokasi LHD-05 dan LHD-23 diperoleh data konsentrasi sulfat terbesar yaitu 537-1609mg/L dengan pH 1,1 diLHD-23. Sedangkan pada LHD-05 yang pH-nya 3,8 - 4,6 konsentrasi sulfatnya paling kecil hanya 6,9 - 27,4mg/L. Hal ini karena sulfat merupakan asam kuat yang kehadirannya dapat menurunkan pH.

Tabel 2. Konsentrasi sulfat awal-akhir kelompok perlakuan (*anaerob*)

Sumber inokulum	Konsentrasi sulfat awal di medium (mg/L)	Konsentrasi sulfat akhir (mg/L)	Pengurangan sulfat (mg/L)
S1	203,5	18,1	185,4
S2	211	20,0	191
S3	235	38,0	197

Dari data Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa pengurangan sulfat terjadi dikelompok perlakuan anaerob,dalam kondisi termofil. Reduksi sulfat yang dilakukan oleh bakteri pereduksi sulfat di air panas sarongsong setelah 7 hari perlakuan, pada stasiun tiga (S3) lebih besar dibandingkan pada S1 dan S2. Jumlah pengurangan sulfat mulai dari S1,S2, S3 berturut-turut adalah 185,4 mg/L, 191 mg/L, 197 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan sulfat paling besar terjadi di stasiun tiga sebesar 197 mg/L. Menurut Munawar (2011) reaksi reduksi ini akan berlangsung dengan baik jika tanahnya mempunyai kandungan bahan organik tinggi. Hakim (2006) menyebutkan pula bahwa lingkungan tempat





bakteri berada memiliki pengaruh terhadap besar kecilnya reduksi sulfat yang terjadi. Seperti yang diuraikan pada data hidrokimia (Tabel 1), stasiun tiga (S3) memiliki warna air yang sangat keruh, sangat berbau telur busuk, padatan terendap banyak, dengan suhu 56°C dan pH 3,34 (asam). Kemungkinan lain bahwa jumlah BPS di S2 dan S3 lebih banyak dibandingkan dengan S1, sehingga lebih cepat dan lebih besar jumlah pengurangan sulfat yang terjadi.

Percobaan kontrol (aerob). Percobaan ini dibuat dalam kondisi *aerob* sebagai kontrol terhadap perlakuan yang dikondisikan *anaerob* (data disajikan pada Tabel 3). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dalam kondisi kontrol justru terjadi oksidasi sulfat, sehingga konsentrasi sulfat bertambah diakhir masa inkubasi. Besar penambahan sulfat pada masing masing kultur lihat Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi sulfat awal-akhir kelompok kontrol

Kontrol (Kondisi Aerob)	Konsentrasi sulfat awal (mg/L)	Konsentrasi sulfat akhir (mg/L)	Penambahan sulfat melalui proses oksidasi (mg/L)
S1	3,5	20,0	16,5
S2	11,0	26,7	15,7
S3	35,0	39,0	4,0

Data Tabel 3, mengindikasikan bahwa dalam sampel air pada ketiga lokasi tersebut juga terdapat bakteri pengoksidasi sulfat. Diduga bahwa bakteri pereduksi sulfat di S3 lebih banyak dibandingkan S1 dan S2 sehingga oksidasi sulfat yang terjadi pada S1 dan S2 berkisar 3-4 kali lebih tinggi dibanding dengan S3.

Kemampuan BPS dalam menurunkan sulfat sehingga dapat meningkatkan pH tanah yang tercemar logam berat dapat bermanfaat pada kegiatan rehabilitasi lahan bekas tambang batu bara atau yang tercemar logam berat. Penelitian ini membuktikan teori yang menyatakan bahwa reduksi sulfat menjadi sulfida dilakukan oleh golongan bakteri pereduksi sulfat pada kondisi *anaerobik* yaitu keadaan tanpa oksigen. Terlihat pada kelompok perlakuan (*anaerob*) dimana terjadi proses reduksi atau pengurangan sulfat sedangkan pada kelompok kontrol (*aerob*) terjadi proses oksidasi sulfat. Proses reduksi merupakan proses yang bersifat *disimilatoris* dimana sulfat berperan sebagai akseptor elektron terminal sementara donor elektron yang digunakannya adalah senyawa-senyawa organik dan hidrogen.

Berdasarkan hasil penelitian ini (lihat data pada Tabel 2), pengurangan sulfat terjadi di air panas Sarongsong pada tiga stasiun tempat pengambilan sampel. Hal ini mengindikasikan adanya Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) di air panas Sarongsong, karena berdasarkan kajian teori reaksi reduksi sulfat dilakukan oleh BPS. Jadi reduksi sulfat yang berlangsung di tiga stasiun air panas Sarongsong merupakan 'tanda hadirnya' Bakteri Pereduksi Sulfat. Menurut Alexander (1977) BPS terdiri dari 2 genus yaitu *Desulfovibrio* dan *Desulfotomaculum*. *Desulfovibrio* hidup pada kisaran pH 6 sampai netral sedangkan *Desulfotomaculum* merupakan kelompok BPS yang termofil yaitu menyukai suhu tinggi. Bakteri pereduksi sulfat yang ada di air panas Sarongsong diduga merupakan genus *Desulfotomaculum* karena air panas sarongsong memiliki rentang suhu 40-75 °C, yaitu berada direntang suhu termofilik. Suhu di setiap stasiun S1,S2,S3 air panas Sarongsong adalah 60°C untuk stasiun satu dan stasiun dua sedangkan stasiun tiga memiliki suhu 56°C.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

- Kandungan sulfat di air panas Sarongsong pada tiga stasiun pengambilan sampel yaitu sebesar 3,5 mg/L di stasiun satu (S1), 11 mg/L di stasiun dua (S2), dan 35 mg/L di stasiun tiga (S3). Kandungan sulfat terbesar ada di stasiun tiga, hal ini sesuai dengan hidrokimia di S3 yang warna airnya sangat keruh, sangat berbau busuk, dan banyak padatan terendap dibandingkan sampel air dari S1 dan S2.
- Kadar pengurangan sulfat terjadi dikelompok perlakuan *anaerob*, yaitu kondisi tanpa oksigen. Reduksi sulfat yang dilakukan oleh bakteri pereduksi sulfat di air panas sarongsong setelah 7 hari perlakuan, pada S3 lebih besar dibandingkan S1 dan S2. Kadar pengurangan sulfat mulai dari S1,S2, S3 berturut-turut adalah 185,4 mg/L, 191 mg/L, 197 mg/L.
- Adanya bakteri pereduksi sulfat di air panas Sarongsong Kota Tomohon dan aktivitas bakteri pereduksi sulfat di S3 lebih tinggi dibandingkan dengan S1 dan S2.
- Ditemukan juga bakteri pengoksidasi sulfat di air panas Sarongsong Tomohon, dan keberadaannya di S1 dan S2 lebih banyak dibandingkan dengan S3, hal itu dilihat dari banyaknya sulfat yang teroksidasi.





Daftar Pustaka

- Alawiyah, Tuty. 2007. *Kultivasi Anaerob dan Identifikasi Fragmen 396pb (550-945) Gen 16S rRNA Bakteri Geobacillus thermoleovorans T4 Isolat Sumber Air Panas Gedong Songo*. Tugas Akhir S1, Jurusan Kimia FMIPA UNDIP. Jurusan Kimia UNDIP
- Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology*. 2nd. John Wiley & Son. New York
- Amela, Keserovic. 2014. *Geothermal systems in Indonesia-Influence on the Corrosion Resistance of Stainless Steel Materials*. Dissertation. Von der Fakultät VI-Planen Bauen Umwelt der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades. Berlin
- Basoeki, Moh and Vincent Radja. 1979. Plan for Development of the Lahendong Geothermal Area North Sulawesi, Indonesia. *Geothermal Resources Council Transactions. United States* Vol.3. Sept 1979.
- Callander, I.J. and J.P. Barford. 1983. Precipitation, Chelation and Availability of Metals and Nutrients in Aerobic Digestion. *Applications Biothechnol. Bioeng.* 25: 1959-1972.
- Casey, K.D., J.R. Bicudo, D.R. Schimidt, A. Singh, S.W. Gay, R.S. Gates, L.D. Jacobson & S.J. Haff. 2006. *Air Quality and Emission from Livestock and Poultry Production Waste Management System in Animal Agriculture and the Environment*. National Centre for Manure and Animal Waste Management White Paper. Pp 1-40
- Djurle, Cecilia. 2004. *Development of Model for Simulation of Biological Sulphate Reduction with Hydrogen as Energy Source*. Master Thesis. Department of Chemical Engineering. Lund Institute of Technology. The Netherlands
- Dwi Suhartanti. 2004. *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pereduksi Sulfat dari Kawasan PLTP Kamojang Jawa Barat*. Prodi Biologi FMIPA Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta. Prosiding Seminar Nasional.
- Freney, J. and Boonjwat. 1983. *Sulfur Transformation In Wetland Soils*. In *Sulfur In South East Asian and South Pasific Agriculture*. Blair G.J. and Ti II A.R. (Ed) Indonesia. UNE.
- Groudev, S.N., K. Komnitsas, I.I. Spasova and I. Paspaliaris. 2001. Treatment of AMD by a natural wetland. *Minerals Engineering* 12 : 261-270.
- <http://jurnal.unimuc.ac.id/index.php/psn12012010/article/view/450.26> Juli 2012
- Hanafiah, K.A. 2004. *Dasar-dasar Ilmu Tanah (TNH)*. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.
- Hards, B.C. and J.P. Higgins. 2004. *Bioremediation of Acid Rock Drainage Using SRB*. Jaques Whit Environment Limited. Ontario
- Hazra, F. 2005. Eksplorasi mikroba pengguna metanol dari tanah dan kotoran sebagai protein tunggal. *Jurnal Tanah dan Lingkungan* 7(2):71-75.
- Higgins, J.P., B.C. Hards and A.I. Matters. 2003. *Bioremediation of Acid Rock Drainage Using Sulphate Reducing Bacteria*. www.Jacqueswhitford.com/site-jw/media/1-48c-sudGurrypapers.2003.mayHiggins.10-8-pdf.
- Jalaludin. 2005. Pengaruh Hardnes pada Baja yang Terendam dalam Air Laut yang mengandung Bakteri Pereduksi Sulfat (SRB). *Jurnal Sistem Teknik Industri* Vol. 6.No.3/ Juli 2005.
- Luef, Birgit., Sirine F., Roseann C., Kelly W., Kenneth W., Michael W., Kenneth D., Philip L., Louis C., Jillian B. 2012. Iron-Reducing Bacteria Accumulate Ferric Oxyhydroxide Nanoparticle Aggregates that may Support Planktonic Growth. *The ISME Journal* (7), 338-350; doi:10.1038/ismej.2012.103
- Ma'shum, M., Soedarsono, J., Susilowati, L. E. 2003. *Biologi Tanah*. CPIU Pasca IAEUP, Bagpro Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia, Ditjen Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Munawar, A. 2011. *Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman*. IPB Press. Bogor
- Nenny Andriyetti. 2006. *Dinamika Populasi Mikrob dalam Campuran Tanah Bekas Tambang Batu Bara dengan Sludge selama Proses Bioremediasi*. Skripsi Prodi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Postgate, J.R. 1984. *The Sulfate Reducing Bacteria*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Widyati, Enny. 2006. *Bioremediasi Tanah Bekas Tambang Batubara dengan Sludge Industri Kertas untuk Memacu Revegetasi Lahan*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor
- Widyati, Enny. 2003. *Isolasi dan Seleksi Bakteri Pengasimilasi Sulfur*. Laporan Tahunan. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam.
- Widyati, Enny. 2007. Pemanfaatan Bakteri Pereduksi Sulfat untuk Bioremediasi Tanah Bekas Tambang Batu Bara. Bogor. *Biodiversitas Jurnal* Vol.8 : 283-286





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Nur Rokhati (Universitas Diponegoro, Semarang)
Notulen : Handrian (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Sesilia Shendy Novita Dewi (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan :
 - Apa perbedaan kandungan sulfat di air panas Sarongsong dengan air panas di lokasi lain?
 - Apakah sulfat di air panas Sarongsong lebih unggul dari segi kualitas dan kemurniannya?Jawaban :
 - Perbedaan kandungan sulfat di air panas Sarongsong dengan air panas di lokasi lain dilihat dari jumlah/konsentrasi sulfatnya. Setiap air panas memiliki kandungan sulfat yang berbeda tergantung dari lingkungan di lokasi tersebut dan kandungan bahan organik di air panas tersebut.
 - Dalam penelitian ini yang diteliti adalah reduksi sulfat di air panas Sarongsong dan aktivitas BPS-nya, tidak untuk menyatakan keunggulan air panas Sarongsong.
2. Penanya : Aji Prasetyaningrum (Universitas Diponegoro, Semarang)
Pertanyaan : Mengapa pada pH yang semakin rendah diperoleh konsentrasi sulfat yang semakin besar?
Jawaban : Sesuai dengan hasil penelitian, konsentrasi sulfat di air panas Sarongsong berkaitan erat dengan pH (tersaji dalam Tabel 1). Pada stasiun yang pH-nya paling rendah, konsentrasi sulfatnya semakin besar atau sebaliknya, hal ini karena sulfat merupakan asam kuat sehingga kehadirannya akan menurunkan pH.

