

ISOLASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI PEREDUKSI SULFAT PADA AREA PERTAMBANGAN BATU BARA MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN

Muchamad Yusron (much_yusron@yahoo.com)

Bibiana W. Lay

Anas M. Fauzi

Dwi Andreas Santosa

Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan,
Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

*Sulfate reducing bacteria utilize sulfate as their terminal electron acceptor and reduce it to sulphide. Acid mine drainage, by-products of mining activities, is an acidic sulfate-rich wastewater suitable habitat for sulfate reducing bacteria. Isolation and identification of sulfate reducing bacteria collected from Muara Enim coal mining, South Sumatra was carried out at Laboratory of Environmental Biotechnology, Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology (ICBB), Bogor, and Laboratory of Microbiology, Faculty of Veterinary, Bogor Agricultural University. Postgate B liquid media was used for isolation and purification via serial dilution. Physiological and biochemical characterization was done based on Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Fifteen pure isolates have been isolated with diverse characteristics. Eight isolates can sustain at pH 3, while the rest sustain at pH 4 or above. Sulfate reduction efficiency of each isolates were different, but increased as the pH increased. The bacteria are classified as *Desulfovibrio* sp., which is characterized straight rods, motile, non spore-forming and able to grow in simple organic carbon.*

Keywords : coal mining, identification, isolation, sulfate reducing bacteria

Di alam dikenal beragam bakteri yang memanfaatkan senyawa anorganik sebagai elektron donor atau elektron akseptor dalam aktivitas metabolismenya, salah satunya adalah bakteri pereduksi sulfat. Bakteri pereduksi sulfat memanfaatkan ion sulfur dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}), tiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) dan sulfit (SO_3^{2-}) sebagai akseptor elektron terminal dalam respirasi metabolismenya, yang kemudian direduksi menjadi sulfida. Spesies bakteri pereduksi sulfat yang paling banyak ditemukan adalah dalam sedimen laut karena kandungan sulfat cukup tinggi (Widdel & Bak, 1992).

Habitat pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat cukup luas. Selain di lautan, bakteri ini juga ditemukan di lahan sawah dan perairan darat. Mengingat bakteri ini merupakan bakteri anaerob obligat, bakteri pereduksi sulfat lebih banyak ditemukan pada lingkungan anoksik, terutama di bagian bawah sedimen. Jorgensen (1982) melaporkan bahwa jumlah dan aktivitas bakteri pereduksi sulfat meningkat dengan ketebalan lapisan sedimen. Namun demikian, ada kelompok bakteri pereduksi sulfat yang mampu tumbuh pada kondisi oksik. Hal ini yang menyebabkan ada keragaman bakteri yang tumbuh dalam sedimen. Risatti, Capman, dan Stahl (1994) mengemukakan bahwa kelompok

Desulfovibrio sp. lebih dominan di bagian atas sedimen, sedangkan *Desulfotomaculum* sp. banyak ditemukan pada bagian bawah sedimen.

Areal pertambangan merupakan habitat yang cukup sesuai untuk pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat. Hal ini dikarenakan aktivitas pertambangan menyebabkan terbentuknya limbah air asam tambang. Air asam tambang merupakan hasil reaksi oksidasi batuan tambang yang kaya akan mineral sulfida. Pirit merupakan mineral sulfida yang banyak dijumpai pada pertambangan batu bara. Batuan sulfida tersebut mengalami oksidasi dengan adanya air dan oksigen, yang dikatalis oleh bakteri pengoksidasi besi dan sulfur, seperti *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* dan *Thiobacillus thiooxidans* (Schipper, 2004; Cohen, 2005; Johnson & Hallberg, 2005).

Proses kimia dan biologi dari bahan-bahan mineral sulfida tersebut menghasilkan senyawa sulfat dengan tingkat kemasaman yang tinggi. Pada kondisi demikian hanya mikroorganisme asidofil yang mampu bertahan dan hidup (Ingledew, 1990). Sampai saat ini pengolahan air asam tambang di area pertambangan Muara Enim dilakukan dengan meningkatkan pH limbah dalam kolam penampungan. Secara alami kolam penampungan limbah tersebut merupakan habitat yang cukup sesuai untuk pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat. Keberadaan bakteri pereduksi sulfat akan sangat membantu mengurangi kandungan sulfat pada air asam tambang, sehingga dapat meningkatkan pH limbah air asam tambang. Bakteri pereduksi sulfat dapat dipergunakan secara bioteknologi untuk mengolah air asam tambang sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri pereduksi sulfat yang tumbuh di area pertambangan batu bara Muara Enim, Sumatera Selatan.

METODOLOGI

Sampel lumpur diambil dari lumpur sedimen kolam penampungan air asam tambang pertambangan batu bara PT Bukit Asam, Muara Enim, Sumatera Selatan. Isolasi dan penurnian bakteri dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, *Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology* (ICBB), Bogor, sedangkan identifikasi bakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor.

Isolasi

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) diisolasi dari ekosistem air asam di kolam penampungan air asam tambang industri batu bara PT Bukit Asam, Sumatera Selatan. Sampel tanah diambil dari sedimen (bagian bawah) kolam, sesuai dengan metode pengambilan sampel mikrobiologi tanah. Sampel diambil sebanyak 100-200 g tanah, dimasukkan ke dalam tabung berwarna gelap, dan dikemas dalam kondisi anaerob.

Isolasi BPS mengikuti metode Atlas (1993) dengan komposisi media cair Postgate B yang disederhanakan. Komposisi untuk satu liter media cair terdiri atas natrium laktat (8 mL), magnesium sulfat (1,0 g), ammonium klorida (0,5 g), kalium dihidrogen fosfat (1,0 g), besi fosfat (0,1 g) dan asam askorbat (0,5 g), glukosa (0,1 g), kalsium klorida (0,1 g), natrium sulfat (0,5 g), dan ekstrak khamir (0,1 g). Pengaturan pH 4 dilakukan dengan penambahan asam sulfat sebelum disterilisasi.

Suspensi sampel dibuat dengan cara dimasukkan 1 g sampel tanah ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan larutan garam fisiologis (0,85%) steril hingga 10 mL, kemudian dihomogenisasi dengan vorteks. Suspensi sampel tersebut dipipet 1 mL dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan larutan garam fisiologis hingga 10 mL, lalu dihomogenisasi. Selanjutnya dilakukan

pengenceran hingga 10^3 , dan diambil 1 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 1/3 media yang telah disterilkan, kemudian ditambahkan media steril secara perlahan-lahan sampai penuh dan ditutup rapat. Media tersebut kemudian diinkubasi pada suhu 35 °C.

Tumbuhnya BPS ditandai dengan berubahnya media menjadi berwarna hitam (dengan terbentuknya sulfida) yang menunjukkan aktivitas BPS. Pengamatan dilakukan saat perubahan warna hingga seluruh media berwarna hitam. Isolat yang tumbuh diberi skor tingkat kepekatan warna hitamnya.

Pemurnian

Pemurnian isolat dilakukan dengan metode pengenceran (Stanier, Adelberg, & Ingraham, 1982). Isolat yang diperoleh dikocok dengan baik hingga terbentuk suspensi. Tingkat pengenceran sepuluh kali dilakukan dengan memindahkan secara aseptik 1 mL suspensi mikrob ke dalam tabung yang berisi 9 mL larutan fisiologi 0,85% lalu dihomogenisasi. Suspensi tersebut diencerkan lebih lanjut dengan cara yang sama hingga pada tingkat pengenceran 10^{12} . Suspensi dipindahkan secara aseptik sebanyak 1 mL ke dalam tabung ulir yang telah berisi media cair steril 1/3 bagian, lalu media ditambahkan secara perlahan-lahan hingga penuh dan ditutup rapat dan diinkubasi pada suhu 35 °C. Pengamatan dilakukan terhadap waktu pertumbuhan biakan mulai dari munculnya warna hitam hingga seluruh tabung menghitam. Isolat yang tumbuh pada tingkat pengenceran terakhir diindikasikan sebagai biakan dengan satu jenis sel BPS.

Seleksi

Seleksi dilakukan dengan pembiakan isolat murni dalam media cair dengan variasi pH dari 7, 6, 5, 4, dan 3. Sebanyak 1 mL suspensi mikrob dipindahkan secara aseptik ke dalam tabung ulir yang telah berisi 1/3 bagian media cair (pH 6), kemudian ditambahkan media perlahan-lahan hingga penuh dan diinkubasi pada suhu 35 °C. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap semua isolat yang akan dikarakterisasi dengan variasi pH. Pada hari ke 21 dilakukan pengukuran sisa sulfat dan pH larutan. Isolat yang dipilih adalah yang mampu tumbuh pada pH rendah dengan kemampuan mereduksi sulfat dan meningkatkan pH media yang tinggi.

Identifikasi

Identifikasi dilakukan hanya pada isolat yang dianggap unggul. Identifikasi dilakukan dengan media padat maupun media cair. Untuk penentuan tipe morfologi, pewarnaan Gram dan pewarnaan spora isolat diambil dari biakan media padat. Masing-masing isolat ditumbuhkan pada media selektif dengan komposisi hara yang sama dengan media cair. Sebanyak 1 mL suspensi mikrob dipindahkan secara aseptik dengan mikropipet ke dalam cawan petri yang telah berisi media padat steril. Suspensi mikrob disebar secara merata di permukaan media, kemudian dimasukkan ke dalam tabung anaerob yang dilengkapi dengan gaspak dan indikator. Biakan diinkubasi pada suhu 35 °C selama lebih dari 7 hari.

Setiap koloni yang tumbuh dipindahkan secara aseptik ke dalam agar miring dan diinkubasi secara anaerob. Koloni yang tumbuh dibiakkan lagi ke dalam media cair dengan cara yang sama. Isolat tersebut diidentifikasi lebih lanjut dengan uji fisiologis dan biokimia. Karakterisasi fisiologis dan

biokimia dilakukan dengan berpedoman pada *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (Holt, Krieg, Sneath, Staley, & Williams, 1994).

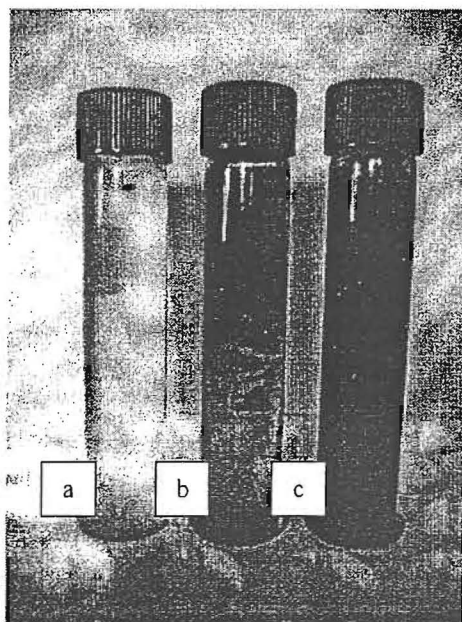
HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Bakteri Pereduksi Sulfat

Hasil isolasi bakteri pereduksi sulfat dari lumpur di kolam penampungan limbah air asam tambang di area pertambangan PT. Bukit Asam Muara Enim memperlihatkan bahwa bakteri pereduksi sulfat ditemukan di semua kolam penampungan. Kondisi kolam penampungan yang banyak mengandung sulfat dan pH rendah merupakan habitat yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat. Namun demikian kelompok bakteri tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda, dilihat dari waktu tumbuh dan kemampuan mereduksi sulfat. Beberapa kelompok bakteri mampu tumbuh cepat, yakni antara 6-8 hari setelah inkubasi, namun demikian ditemukan pula kelompok bakteri yang membutuhkan waktu 21 hari untuk tumbuh.

Kemampuan kelompok bakteri untuk mereduksi sulfat juga berbeda. Kemampuan mereduksi sulfat diindasikan dengan tingkat kepekatan larutan dan warna hitam pada tabung reaksi. Sesuai dengan reaksi reduksi sulfat, SO_4^{2-} direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat menjadi S^{2-} , dan bereaksi dengan ion logam membentuk logam sulfida yang berwarna hitam dan tidak larut. Oleh karena itu, makin banyak logam sulfida yang terbentuk, larutan dalam tabung akan semakin pekat (Gambar 1). Keragaman karakteristik kelompok bakteri pereduksi sulfat tersebut disebabkan perbedaan ekosistem tempat tumbuhnya, seperti pH, konsentrasi sulfat dan ketebalan lumpur dalam kolam. Hasil pengukuran pH dan kandungan sulfat di beberapa titik pengamatan memperlihatkan adanya perbedaan tersebut (Tabel 1). Nilai pH bervariasi antara 2,92 – 4,05, sedang kandungan SO_4^{2-} berkisar antara 800 – 1150 mg/L. Perbedaan kondisi ekosistem mikro kolam penampungan limbah menyebabkan perbedaan isolat bakteri yang tumbuh dan beradaptasi pada kondisi ekosistem tersebut.

Keragaman karakteristik bakteri pereduksi sulfat sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, kemasaman lingkungan, kedalaman sedimen, ketersediaan energi dari bahan organik, dan kandungan sulfat. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian lain yang mengemukakan bahwa faktor lingkungan mempengaruhi keragaman jenis dan karakteristik bakteri pereduksi sulfat antara lain kemasaman lingkungan (Bractova, Groudev, & Georgiev, 2002), kedalaman sedimen (Hoehler, Alperin, Albert, & Martens, 2001; Jorgensen, 1982), ketersediaan energi dari bahan organik (Hoehler *et al.*, 2001; Liamleam & Annachhtre, 2007), dan kandungan sulfat (Icgen & Harrison, 2006). Icgen dan Harrison (2006) melaporkan bahwa kandungan sulfat menentukan kelompok bakteri pereduksi sulfat yang dominan tumbuh pada suatu ekosistem.



Gambar 1. Indikasi terjadinya reduksi sulfat oleh bakteri pereduksi sulfat hasil isolasi di kolam penampungan limbah air asam tambang di Muara Enim, Sumatera Selatan : (a) kontrol, (b) hitam tipis hampir merata dan (c) hitam pekat merata

Perbedaan karakteristik bakteri pereduksi sulfat mungkin juga disebabkan oleh perbedaan kedalaman contoh yang diambil. Contoh lumpur diambil pada kedalaman antara 50 cm sampai 150 cm. Perbedaan kedalaman lumpur tersebut akan mempengaruhi jumlah oksigen yang terlarut, sehingga mempengaruhi jenis dan aktivitas bakteri yang tumbuh. Beberapa kelompok bakteri pereduksi sulfat mampu tumbuh pada kondisi oksik, sedangkan kelompok bakteri lain membutuhkan kondisi yang betul-betul anoksik. Pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat yang anaerob obligat terganggu dengan adanya oksigen terlarut. Risatti *et al.* (1994) mengemukakan bahwa kelompok *Desulfovibrio* lebih dominan di bagian atas dari sedimen. Sedangkan Jorgensen (1982) melaporkan bahwa jumlah dan aktivitas bakteri pereduksi sulfat meningkat dengan ketebalan lapisan sedimen.

Tabel 1. Nilai pH Kandungan SO_4^{2-} Contoh Air Asam Tambang di Muara Enim, Sumatera Selatan

Kode Contoh	Posisi		pH	SO_4^{2-} (mg/L)
PIT G	03 42,112 S	103 46,409 E	2,92	1050
ALP	03 43,441 S	103 47,190 E	2,95	925
KPL	03 41,418 S	103 45,779 E	2,92	1150
TOWER	03 41,981 S	103 47,757 E	3,41	980
KTU	03 42,889 S	103 47,324 E	3,48	875
TUPAK	03 41,754 S	103 47,283 E	3,24	825
LINTANG	03 41,421 S	103 45,990 E	3,56	850
KANDIS	03 43,939 S	103 47,391 E	3,97	840
KPL MERE	03 42,770 S	103 47,658 E	4,05	800
LIMAU TEMBE	03 41,292 S	103 47,810 E	3,75	905

Pemurnian Bakteri Pereduksi Sulfat

Dari 26 kelompok bakteri yang telah diolasi, diperoleh 15 isolat murni bakteri pereduksi sulfat. Isolat murni ini merupakan bakteri yang mampu tumbuh pada salah satu tabung pada tingkat pengenceran terakhir. Hasil ini memperlihatkan bahwa tidak semua bakteri pereduksi sulfat mampu tumbuh pada kondisi spesifik. Dari hasil pemurnian ini terlihat bahwa isolat yang tidak dapat dimurnikan adalah kelompok bakteri yang mempunyai kemampuan mereduksi sulfat rendah.

Karakteristik Isolat Murni Bakteri Pereduksi Sulfat

Beberapa karakteristik isolat bakteri pereduksi sulfat yang telah dimurnikan disajikan pada Tabel 2. Karakteristik isolat murni beragam dalam beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya dan kemampuan mereduksi sulfat. Hasil pengujian pada media dengan konsentrasi sulfat sebesar 500 mg/L, dari 15 isolat murni, hanya 8 isolat yang mampu tumbuh pada pH 3. Tujuh isolat murni lainnya hanya mampu tumbuh pada pH di atas 4. Kemampuan bakteri pereduksi sulfat beradaptasi dengan kondisi masam berkaitan dengan karakteristik sel bakteri.

Tabel 2. Kemampuan Reduksi Sulfat Isolat BPS pada Konsentrasi Sulfat 500 mg/L dan pH Awal 3, 4 dan 6

Isolat	pH 6			pH 4			pH 3		
	pH	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	% Reduksi	pH	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	% Reduksi	pH	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	% Reduksi
ICBB 8818	8,32	41,06	91,79	7,65	68,54	86,23	6,74	78,58	84,28
ICBB 8815	8,15	43,25	91,35	7,60	69,44	86,11	6,57	80,24	83,95
ICBB 8816	7,91	44,89	91,02	7,22	70,12	85,33	6,68	84,64	83,07
ICBB 8813	7,90	45,32	90,94	7,10	70,24	85,34	6,59	106,08	78,78
ICBB 8819	7,80	45,06	90,99	7,40	90,64	81,37	6,40	106,82	78,64
ICBB 8825	7,75	57,80	88,44	7,10	89,50	82,10	6,59	115,26	76,95
ICBB 8817	7,70	62,40	87,52	7,00	112,58	77,43	6,40	142,67	71,47
ICBB 8811	7,70	60,58	87,88	7,00	92,58	81,43	It	-	-
ICBB 8814	7,60	90,26	81,95	7,0	120,25	75,95	6,00	140,28	71,94
ICBB 8812	7,60	78,29	84,34	7,00	108,11	78,35	It	-	-
ICBB 8823	7,50	95,25	80,95	7,05	115,28	76,94	It	-	-
ICBB 8824	7,30	100,85	79,83	7,00	125,58	74,68	It	-	-
ICBB 8822	7,20	113,25	77,35	6,90	133,12	73,38	It	-	-
ICBB 8821	7,20	120,21	75,96	6,90	140,25	71,95	It	-	-
ICBB 8820	7,20	126,25	74,75	7,00	136,15	72,77	It	-	-

Keterangan : It = tidak tumbuh

Kemampuan isolat bakteri pereduksi sulfat juga beragam, namun efisiensi reduksi sulfat semua isolat meningkat dengan peningkatan nilai pH. Pada pH 6 efisiensi reduksi sulfat berkisar antara 74,75% sampai 91,79%. Kemampuan terendah diperoleh isolat ICBB 8820, sedangkan isolat ICBB 8818 mempunyai kemampuan mereduksi sulfat paling tinggi, yakni sebesar 91,79%. Penurunan pH menurunkan kemampuan bakteri mereduksi sulfat. Pada pH 6, isolat ICBB 8820 mampu mereduksi sebesar 74,75%, berkurang menjadi 72,77% pada pH 4, dan tidak mampu tumbuh pada pH 3. Sedangkan kemampuan reduksi isolat ICBB 8818 mencapai 91,79% pada pH 6, tetapi hanya sebesar 84,28% pada pH 3. Pada pH 3 total sulfat yang tereduksi oleh 8 isolat yang mampu tumbuh berkisar antara 71,47% sampai 84,28%.

Identifikasi Bakteri Pereduksi Sulfat

Karakteristik 8 isolat unggul bakteri pereduksi sulfat disajikan pada Tabel 3. Identifikasi ini dilakukan berdasarkan *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, yang didasarkan pada beberapa karakteristik antara lain pewarnaan Gram, bentuk sel, bentuk koloni, warna koloni, motilitas, kondisi lingkungan tumbuh, pembentukan spora dan sumber karbon.

Berdasarkan *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, hasil identifikasi 8 isolat unggul, diperoleh bahwa semua isolat tersebut termasuk dalam kelompok *Desulfovibrio* sp. *Desulfovibrio* sp. adalah bakteri pereduksi sulfat dengan karakteristik antara lain bersifat mesofilik, gram negatif, batang, tidak membentuk spora dan hanya menunjukkan pertumbuhan pada kondisi anaerob. Bakteri ini tergolong bakteri yang mengoksidasi karbon organik secara tidak sempurna. *Desulfovibrio* sp. terutama memanfaatkan laktat sebagai sumber karbon, dan mengoksidasinya menjadi asetat. Rzezycka dan Blaszczyk (2005) dan Cord-Ruwisch, Olivier, dan Garcia, (1986) melaporkan bahwa *Desulfovibrio* tumbuh lebih baik dengan laktat sebagai sumber karbon. Namun demikian kelompok bakteri ini juga dapat memanfaatkan sumber karbon lain, seperti malat, pyruvat, propionat, butyrat, dalam mereduksi sulfat (Postgate & Campbell, 1966). *Desulfovibrio* sp. memanfaatkan sumber karbon antara lain laktat, dan mengoksidasinya menjadi asetat.

Desulfovibrio sp. merupakan kelompok bakteri pereduksi sulfat yang paling banyak ditemui di alam, dan paling banyak ditemui pada sedimen lingkungan air tawar (Holmer & Storkholm, 2001). Hasil isolasi dan pemurnian bakteri pereduksi sulfat yang tumbuh di lingkungan pertambangan batubara menunjukkan bahwa *Desulfovibrio* sp. merupakan bakteri pereduksi sulfat yang paling dominan. Hal ini sesuai dengan hasil temuan Iogen dan Harrison (2006), dimana *Desulfovibrio* sp. ditemui lebih dominan pada ekosistem dengan kandungan sulfat yang tinggi dibandingkan dengan kelompok bakteri pereduksi sulfat lainnya.

Desulfovibrio sp. merupakan bakteri pereduksi sulfat yang mampu hidup pada kondisi yang sedikit oksik. Karakteristik ini berkaitan dengan kemampuan bakteri menghasilkan enzim yang mampu melindungi sel dari stres oksigen. Berkaitan dengan kemampuan *Desulfovibrio* sp. hidup dalam kondisi sedikit oksik, Fournier *et al.*, (2003) mengemukakan bahwa dalam sel *Desulfovibrio* sp. terdapat enzim *superoxide reductase* (Sor) yang berperan dalam mereduksi oksigen. Oleh karena itu kelompok bakteri ini sering ditemukan di bagian atas sedimen (Risatti *et al.*, 1994). Walaupun demikian *Desulfovibrio* sp. tetap membutuhkan kondisi anaerob untuk dapat mempertahankan perkembangannya. Bakteri ini hanya mampu tumbuh dengan baik pada kondisi oksik selama tidak lebih dari 24 jam, setelah itu pertumbuhannya akan turun drastis (Cypionka, Widdel, & Pfenning, 1985).

Tabel 3. Karakteristik Delapan Isolat Unggul Bakteri Pereduksi Sulfat

Karakteristik	Isolat							
	ICBB 8813	ICBB 8814	ICBB 8815	ICBB 8816	ICBB 8817	ICBB 8818	ICBB 8819	ICBB 8825
Pewarnaan Gram	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif
Bentuk Sel	Batang	Batang	Batang	Batang	Batang	Batang	Batang	Batang
Bentuk Koloni	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan	Bulat tak beraturan
Warna Koloni	Putih – krem	Putih – krem	Putih – krem	Putih – krem	Putih – krem	Putih – krem	Putih – krem	Putih – krem
Ukuran Sel								
Panjang (μm)	1,12-1,75	1,05-2,12	1,09-2,22	1,07-1,86	1,02-1,92	1,07-1,72	1,08-1,96	1,01-2,02
Lebar (μm)	0,70-1,03	0,68-1,06	0,69-1,01	0,68-1,00	0,75-1,00	0,71-1,05	0,65-1,01	0,68-1,09
Motilitas	+	+	+	+	+	+	+	+
Anaerob	+	+	+	+	+	+	+	+
Endospora	-	-	-	-	-	-	-	-
Sumber karbon	Laktat	Laktat	Laktat	Laktat	Laktat	Laktat	Laktat	Laktat
Suhu pertumbuhan $^{\circ}\text{C}$	25-40	25-40	25-40	25-40	25-40	25-40	25-40	25-40
Penghasil sulfida	+	+	+	+	+	+	+	+
Species	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.	<i>Desulfovibrio</i> sp.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Lima belas isolat murni bakteri pereduksi sulfat berhasil diisolasi dari area pertambangan batu bara Muara Enim, Sumatera Selatan.
2. Karakteristik masing-masing isolat berbeda. Delapan isolat mampu tumbuh pada pH 3, tujuh isolat lainnya hanya mampu tumbuh pada pH di atas 4. Kemampuan isolat bakteri pereduksi sulfat juga beragam, namun efisiensi reduksi sulfat semua isolat meningkat dengan peningkatan nilai pH.
3. Hasil identifikasi 8 isolat unggul, diperoleh bahwa semua isolat tersebut termasuk dalam kelompok *Desulfovibrio* sp., bakteri yang berbentuk batang, motil, tidak membentuk spora dan menggunakan laktat sebagai sumber organik.

REFERENSI

- Atlas, R.M. (1993). *Hand book of microbiological media*. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc.
- Bractova, S., Groudev, S., & Georgiev, P. (2002). The effect of some essential environmental factors on microbial dissimilatory sulphate reduction. *Annual of the University of Mining and Geology St Ivan Ritski, Vol 44-45, Part II, Mining and Mineral Processing*. pp. 123-127.
- Cohen, R.R.H. (2005). Use microbes for cost reduction of metal removal from metals and mining industry waste streams. *Journal of Cleaner Production*, 5, 1-2.
- Cord-Ruwisch, R., Ollivier, B., & Garcia, J.L. (1986). Fructose degradation by *Desulfovibrio* sp. In pure culture and in-coculture with *Methanospirillum hungatei*. *Current Microbiology*, 13, 285-289.
- Cypionka, H., Widdel, F., & Pfennig, N. (1985). Survival of sulfate-reducing bacteria after oxygen stress, and growth in sulfate-free oxygen sulfide gradients. *FEMS Microbiology and Ecology*, 31, 39-45.
- Fournier, M., Zhang, Y., Wildschut, J.D., Dolla, A., Voordouw, J.K., & Schriemer, D.C. (2003). Function of oxygen resistance proteins in the anaerobic sulfate-reducing bacterium *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough. *Journal of Bacteriology*, 185 (1), 71-79.
- Hoehler, T.M., Alperin, M.J., Albert, D.B., & Martens, C.S. (2001). Apparent minimum free energy requirements for methanogenic archaea and sulfate-reducing bacteria in an anoxic marine sediment. *FEMS Microbiology and Ecology*, 38, 33-41.
- Holmer, M., & Storkholm, P. (2001). Sulphate reduction and sulphur cycling in lake sediments: A review. *Freshwater Biology*, 46, 431-451.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., & Williams, S.T. (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Baltimore, USA: Williams and Wilkins.
- Icgen, B., & Harrison, S. (2006). Identification of population dynamics in sulfate-reducing consortia on exposure to sulfate. *Research on Microbiology*, 157, 922-927.
- Ingledew, W.J. (1990). Acidophiles (Chapter 2). C. Edwards (Ed). *Microbiology of extreme environments*. Open University Press, Milton Keynes. 33-54.
- Johnson, D.B., & Halberg, K.B. (2005). Acid mine drainage remediation options: A review. *Science of the Total Environment*, 338, 3-14.
- Jorgensen, B.B. (1982). Mineralization of organic matter in sea bed: The role of sulphate reduction. *Nature*, 296, 643-645.

- Liamleam, W., & Annachhatre, A.P. (2007). Electron donors for biological sulfate reduction. *Biotechnology Advance*, 25 , 452-463.
- Postgate J.R., & Campbell, L.L. (1966). Classification of *desulfovibrio* species, the nonsporulating sulfate-reducing bacteria. *Bactiorology Review*, 30(4), 732-738.
- Risatti, J.B., Capman, W.C., & Stahl, D.A. (1994). Community structure of a microbial mat: The phylogenetic dimension. *Proceeding of National Academy Science*. USA, 10173-10177.
- Rzeczycka, M. & Blaszczyk, B. (2005). Growth and activity of sulphate-reducing bacteria in media containing phosphogypsum and different source of carbon. *Polish Journal of Environemntal Studies*, 14 (6), 891-895.
- Stanier, R.Y., Adelberg, E.A., & Ingraham, J. (1982). *The Microbial World*. New Jersey: Practice Hall Inc. Englewood Cliffs.
- Schipper, A. (2004). Biogeochemistry of metal sulfide oxidation in mining environments, sediment and soils. In Amend, J.P., Edwards, K.J. & Lyons, T.W. (Eds). *Sulfur Biogeochemistry – Past and Present*. Geological Soc. of America. Special Paper, 379, 49-62.
- Widdel, F., & Bak, F. (1992). Gram-negative mesophilic sulfate-reducing bacteria. In Balows A. et al. (Eds). *The Prokaryotes*. (2nd ed). *A Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Application*. New York : Springer-Verlag.