

Rancang Bangun Biofilter dan Pemanfaatannya untuk Menurunkan Kandungan Hidrogen Sulfida dalam Gas Bumi pada Skala Pilot di Lapangan Migas

Oleh: Moch Fierdaus

Peneliti Pertama pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, P.O. Box 1089/JKT, Jakarta Selatan 12230 INDONESIA
Teregistrasi 1 Tanggal 26 Februari 2009; Diterima setelah perbaikan tanggal 30 Juli 2009
Disetujui terbit tanggal: 17 September 2009

S A R I

Telah dibuat suatu unit biofilter yang terdiri atas tabung filter terbuat dari besi galvanis berdiameter 4" dan tinggi 1,5 m. Di dalamnya berisi komponen biofilter terdiri atas karbon aktif sebagai substrat, dan kultur mikroba sulfur dengan media tumbuhnya. Alat ini dibuat untuk menurunkan kandungan H_2S dalam aliran gas bumi, dilakukan secara kontinyu dengan kecepatan aliran kurang lebih berkisar 10 s/d 30 liter / menit.

Dari uji coba pemakaian biofilter di suatu lapangan migas Cilamaya, menunjukkan hasil cukup nyata. Uji coba dilakukan selama 86 jam dengan dua perlakuan P-1 dan P-2. Perlakuan P-1 menggunakan komponen biofilter berupa karbon aktif, dan air formasi pembawa mikroba sebagai media tumbuh. Perlakuan P-2 mikrobaanya berupa *Thiobacillus thioparus* dengan media thiosulfat sebagai media tumbuhnya. Penurunan kandungan H_2S dalam gas bumi pada perlakuan P-1 dapat mencapai rata-rata sekitar 60%, dan meningkat menjadi 73% pada perlakuan P-2.

Kata kunci: biodesulfurisasi

ABSTRACT

A biofilter unit with 4" diameter and 1.5 m height from galvanis metal was built to reduce H_2S content in natural gas flow. The biofilter that contains active carbon as substrate and sulphur bacterial culture was used in continuous gas flow (10 – 30 L/minutes).

*Field experiment of biofilter application in Cilamaya gas field showed significant result in H_2S reduction. The test conducted during 86 hours using P-1 treatment (contains active carbon and formation water) and P-2 treatment (contains active carbon, *Thiobacillus thioparus* bacteria and thiosulphate medium). In P-2 treatment, H_2S decreased 73% and 60% in P-1 treatment.*

Key words : biodesulfurisation

I. PENDAHULUAN

Gas bumi sebagai bagian dari bahan bakar migas merupakan sumber energi potensial untuk kegiatan industri, transportasi dan rumah tangga. Potensi produksi gas bumi untuk ditingkatkan dan dikembangkan masih terbuka luas. Cadangan yang tersedia cukup tinggi dan pencarian cadangan baru masih dilakukan dengan intensif. Namun demikian

masih banyak gas bumi yang diperoleh dengan kualitas yang kurang baik. Hal ini mengakibatkan gas tidak dapat langsung digunakan. Kondisi demikian banyak disebabkan oleh tingginya kandungan gas non hidrokarbon dalam gas bumi. Untuk mendapatkan produk gas yang baik, kandungan komponen penyebab penurunan/perusak mutu harus direduksi.

Berkaitan dengan mutu gas bumi, banyak kom-

ponen nonhidrokarbon berpotensi sebagai penurun/perusak mutu gas bumi. Komponen tersebut yang banyak dan sering terkandung dalam gas bumi salah satu di antaranya adalah senyawa sulfur. Komponen sulfur dalam gas bumi terdiri atas berbagai senyawa, namun demikian senyawa yang dominan adalah hidrogen sulfida (H_2S).

Kandungan sulfur dalam gas bumi yang cukup tinggi perlu direduksi, banyak cara untuk menanggulangnya baik yang sudah diaplikasikan maupun yang masih dalam kajian. Namun pada saat ini teknologi terapan yang banyak digunakan relatif mahal, cukup kompleks, dan kurang ramah lingkungan. Untuk mendukung kegiatan ini, biodesulfurisasi ditawarkan sebagai teknologi alternatif, yaitu teknologi penanggulangan yang didukung oleh aktivitas mikroorganisme. Dengan dukungan aktivitas bakteri sulfur, kandungan belerang dalam gas bumi dapat diturunkan sampai sekecil mungkin. Proses tersebut akan berjalan secara alami, relatif sederhana, dan ramah lingkungan.

Dalam kegiatan ini dilakukan suatu usaha mendapatkan cara menurunkan kandungan H_2S secara relatif sederhana, efektif dan ramah lingkungan. Untuk mendukung kegiatan ini dilakukan rancang bangun pembuatan unit biofilter. Selanjutnya dilakukan uji alat tersebut untuk menurunkan kandungan H_2S dalam gas bumi langsung di lapangan migas secara kontinyu.

A. Hidrogen Sulfida (H_2S)

Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan salah satu senyawa gas alam yang jika dibentuk dan dioksidasi dapat menjadi sulfur elemental. Hidrogen sulfida (H_2S) mempunyai bau seperti telur busuk dan kadang lebih toksik dari pada karbon monoksida. Gas ini dapat dideteksi pada konsentrasi yang sangat rendah (0,002 mg/L), memiliki sifat yang beracun, korosif dan dapat terbakar (Merck, 1983).

Hidrogen sulfida merupakan gas yang sangat toksik, pada konsentrasi yang sangat tinggi dapat menyebabkan kematian dalam 2-3 menit. Gas ini juga memiliki sifat yang sangat mudah terbakar pada konsentrasi 4.3 – 46% dapat menyebabkan ledakan. Pada konsentrasi yang rendah, H_2S dapat menyebabkan iritasi pada mata dan menyerang sistem pernafasan. Pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat mengakibatkan sakit kepala, mual dan muntah. Pada konsentrasi lebih dari 1000 ppm dapat menyebabkan

hilang kesadaran untuk beberapa saat (1 – 2 detik) dan pada akhirnya dapat menyebabkan kematian (Costigan 2003).

B. Bakteri Pengoksidasi Senyawa Sulfur

Bakteri pengoksidasi sulfat dapat ditemukan hampir di semua lingkungan di bumi: tanah, air tawar, air laut, dan air payau, sumber air panas, daerah geotermal, sumur minyak dan gas, cadangan sulfur, endapan lumpur, selokan, besi berkarat, rumina kambing dan usus serangga (Postage, 1984 dalam Denny, 2004). Ada beberapa jenis bakteri aerobik yang dapat mengoksidasi senyawa hidrogen sulfida (H_2S) menjadi sulfur elemental seperti *Thiobacillus*, *Pseudomonas*, *Beggiatoa*, *Thiotrix* dan lain-lain. Bakteri *Thiobacillus* seperti *T. thioeparus*, *T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *T. denitrificans*, *T. neapolitanus* (Udiharto, 1997 dan Joong 1998). Untuk pertumbuhan bakteri *Thiobacillus*, media yang baik adalah media yang mengandung bahan-bahan seperti $(NH_4)_2SO_4$ sebagai sumber nitrogen, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ sebagai sumber magnesium, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan $CaCl_2$ sebagai sumber besi dan kalsium, serta KH_2PO_4 yang berfungsi sebagai *buffer* yang dapat mempertahankan nilai pH dan sumber fosfor yang dibutuhkan oleh sel (Frobisher, 1962 dalam Irawan, 2005).

C. Biofilter

Biofilter telah banyak digunakan di negara-negara maju, karena efektif untuk mengolah emisi gas-gas dari berbagai industri dengan volume yang besar namun konsentrasi polutan yang rendah. Selain itu dibandingkan dengan metode fisika-kimia, biaya investasi dan operasionalnya rendah, stabil pada penggunaan waktu yang relatif lama dan memiliki daya penguraian yang tinggi.

Kinerja biofilter menurut Ottengraf (1987) dalam Wahyuni (2004) dapat dinilai berdasarkan beberapa hal berikut :

1. Laju atau kapaitas penghilangan maksimum (g/kg-media kering/hari).
2. Kecepatan tercapainya kondisi aklimatisasi mikroba. Parameter ini akan menunjukkan kinerja dari konsorsium mikroba yang dikembangkan untuk pendegradasian polutan target. Semakin cepat masa adaptasi (*log phase*), maka kinerja biofilter akan semakin baik.
3. Kemampuan mempertahankan rasio penghilangan

gas (efisiensi) dalam waktu yang relatif lama. Rasio penghilangan polutan gas dari biofilter umumnya diatas 95% dalam jangka waktu yang relatif lama (tahunan).

4. Kemampuan bahan pengisi dalam mempertahankan kondisi pH, suhu dan kadar air. Kemampuan ini menggambarkan kinerja biofilter terhadap fluktuasi beban polutan gas yang tinggi, kurangnya humidifikasi dan masa tidak terpakainya biofilter akibat fluktuasi proses produksi pada industri.

D. Karbon Aktif

Karbon aktif /arang aktif adalah suatu bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran pada suhu 500-600°C dari bahan yang mengandung unsur karbon. Arang yang terbuat dari selulosa, bersifat lunak dan mudah terbakar, sedangkan arang yang terbuat dari tempurung dan batu bara lebih padat dan keras. Sebagian besar dari pori-porinya tertutup dengan hidrokarbon, ter dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat, abu, air, nitrogen, dan sulfur (Djarmiko *et al.*, 1985).

Karbon aktif/arang aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon baik organik maupun anorganik. Arang aktif mempunyai sifat penyerapan yang selektif, lebih menyukai bahan-bahan nonpolar dari pada bahan polar. Dibandingkan dengan bahan-bahan adsorben komersial lainnya, arang aktif memiliki aktivitas dengan spektrum penyerapan yang luas, stabilitas fisik dan kimia yang sangat baik dan mudah dibuat dari bahan-bahan yang banyak tersedia.

II. TATAKERJA

Penelitian mencakup dua kegiatan, yaitu rancang bangun biofilter dan kajian proses biodesulfurisasi. Rancang bangun dilakukan di PPPTMGB "LEMIGAS", sedangkan kegiatan kajian proses biodesulfurisasi dalam gas bumi, dilakukan di lapangan yaitu di suatu stasiun pengumpul gas bumi di lingkungan lapangan migas Cilamaya.

A. Rancang Bangun Biofilter

Kegiatan ini diawali dengan melakukan rancang bangun biofilter, yaitu membuat suatu filter yang akan digunakan sebagai sarana untuk menurunkan kandungan sulfur dalam gas bumi. Unit biofilter terdiri atas tabung filter sebagai wadah dan komponen biofilter sebagai isi tabung filter tempat proses biodesulfurisasi berlangsung.

1. Tabung Filter

Tabung filter terbuat dari pipa besi galvanis berdiameter 4", tebal dinding 6 mm, tinggi 1,5 meter dan mampu menahan tekanan sampai 50 bar. Alat ini dioperasikan dengan posisi berdiri.

Bagian bawah terdapat pipa *inlet*, di samping itu juga dilengkapi dengan *safety valve* yang secara otomatis akan terbuka bila tekanan dalam tabung melebihi tekanan yang telah ditentukan. Bagian atas terdapat pipa *outlet*, di bagian ini dilengkapi manometer untuk mengukur tekanan dalam tabung. Bagaimana bentuk tabung biofilter secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 1.

2. Komponen Biofilter

Komponen biofilter pada garis besarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian. Bagian pertama berperan sebagai substrat, merupakan bagian yang mendominasi komponen filter. Substrat yang digunakan ditentukan berdasarkan hasil kajian sebelumnya yaitu karbon aktif. Bagian kedua adalah media untuk pertumbuhan mikroba pendegradasi sulfur, dan bagian ketiga berupa kultur bakteri belerang sebagai mikroorganisme pelaku proses biodesulfurisasi. Ketiga bagian tersebut akan bercampur secara homogen dan perlu waktu aktivasi agar siap menjadi biofilter yang aktif.

Unit biofilter dioperasikan dengan kondisi dimana kurang lebih 80% isi tabung berisi komponen biofilter. Dalam kajian biodesulfurisasi lebih lanjut, unit biofilter akan dialiri gas bumi dengan kecepatan kurang lebih 10-30 liter / menit.

B. Kajian Proses Biodesulfurisasi

Kajian proses biodesulfurisasi dilakukan dengan menggunakan unit biofilter hasil rancang bangun seperti yang diuraikan pada butir A. Berkaitan dengan penggunaan biofilter, maka dalam proses biodesulfurisasi faktor utama yang perlu diperhatikan adalah jenis dan keaktifan mikroba pendegradasi sulfur, media tumbuh untuk mikroba sulfur, dan substrat sebagai pendukung filter dan tempat proses biodesulfurisasi berlangsung.

Dalam kajian ini digunakan gas bumi berkadar sulfur cukup nyata (tinggi) yang diambil dari suatu sumur gas. Gas bumi yang keluar dari sumur direduksi tekanannya sesuai dengan kemampuan biofilter, kemudian dialirkan lewat sarana penangkap air untuk meminimalisasi kandungan air dalam gas, dan

selanjutnya gas dialirkan ke biofilter. Sebelum masuk dan sesudah keluar biofilter, dilakukan pengambilan sampel gas bumi untuk analisis kandungan H_2S . Hal ini untuk melihat kemampuan biofilter menurunkan kandungan sulfur dalam gas tersebut.

Berdasarkan hasil kajian sebelumnya, mikroorganisme yang potensial digunakan sebagai pendegradasi sulfur adalah kultur bakteri *Thiobacillus thioparus*. Sebagai media tumbuh untuk bakteri tersebut digunakan media thiosulfat. Sedangkan sebagai substratnya digunakan karbon aktif.

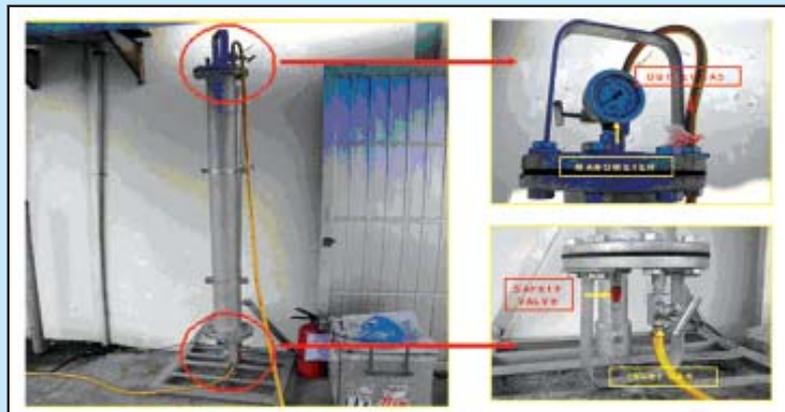
Untuk kegiatan kajian biodesulfurisasi ini dilakukan dengan dua perlakuan. Perlakuan pertama (P-1) komponen filter yang digunakan berupa karbon aktif yang dibasahi dengan air formasi. Air formasi yang digunakan berasal dari sumur gas tersebut. Dalam perlakuan ini tidak ditambahkan kultur mikroorganisme secara khusus. Sedangkan perlakuan yang kedua (P-2), substrat karbon aktif dibasahi dengan media thiosulfat ditambah dengan kultur bakteri *T. thioparus*. Sebelum digunakan, kultur bakteri ini diaktivasi terlebih dahulu minimal selama kurang lebih 24 jam.

Kajian desulfurisasi kandungan sulfur dalam gas bumi dilakukan secara terus menerus selama beberapa hari, dalam kegiatan ini dilakukan selama kurang lebih empat hari. Parameter yang diamati selama proses biodesulfurisasi berlangsung, adalah analisis kandungan H_2S dalam gas bumi secara yodometri. Di samping itu juga dilakukan penghitungan besarnya populasi bakteri yang digunakan. Penghitungan populasi dilakukan dengan menggunakan metode lempeng total, dalam kegiatan ini penghitungan dilakukan pada awal dan akhir pengujian.

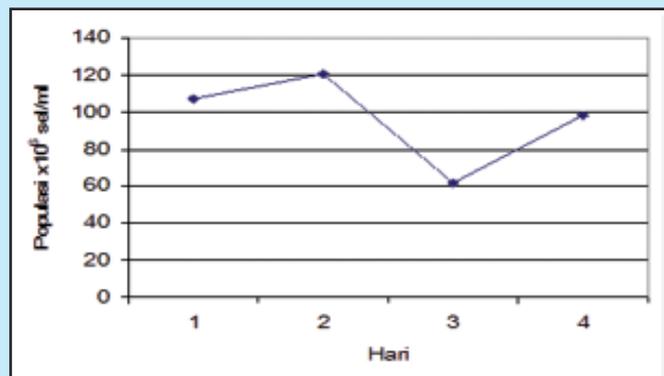
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pertumbuhan Bakteri Uji

Kultur bakteri *T. thioparus* yang akan digunakan dalam proses biodesulfurisasi, perlu diuji untuk dilihat



Gambar 1
Tabung filter beserta kelengkapannya



Gambar 2
Kurva pertumbuhan *T. thioparus* di media thiosulfat

kemampuan tumbuhnya. Kajian ini dilakukan di luar biofilter dengan waktu inkubasi kurang lebih empat hari.

Selama empat hari pengamatan diperoleh data pertumbuhan seperti terlihat pada Gambar 2. Hasil pertumbuhan menunjukkan bahwa kultur *T. thioparus* tumbuh baik dalam media thiosulfat. Dengan populasi sebanyak 10^8 sel/ml pada awal pangujian, kultur bakteri tersebut tumbuh baik sampai hari kedua. Pertumbuhan mulai menurun setelah hari ke tiga. Berdasarkan hasil pengujian selama empat hari, menunjukkan bahwa kultur bakteri *T. thioparus* dapat digunakan untuk uji coba sebagai komponen biofilter.

B. Penurunan Hidrogen Sulfida Perlakuan P-1

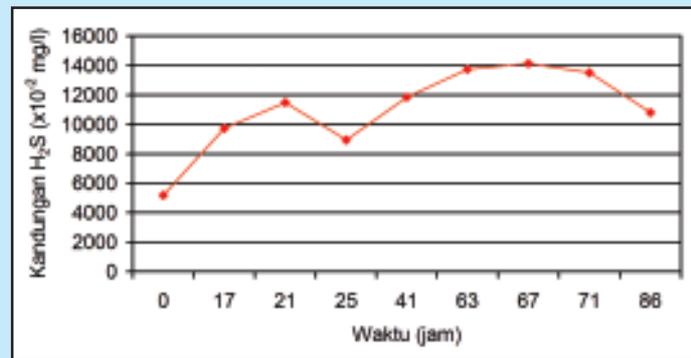
Pada perlakuan P-1, komponen biofilter hanya menggunakan karbon aktif dan air formasi, dengan demikian tidak menggunakan bakteri belerang yang spesifik. Mikroba yang ada adalah mikroorganisme yang terkandung dalam air formasi. Dalam kegiatan ini gas bumi dialirkan secara kontinyu melalui biofilter. Degradasi kandungan H_2S dalam gas bumi, dihitung berdasarkan hasil analisis H_2S yang terkandung dalam sampel gas bumi sebelum masuk dan setelah keluar dari biofilter.

Hasil analisis H_2S dari sampel gas yang diambil sebelum masuk biofilter selama 86 jam inkubasi dapat dilihat pada Gambar 3. Besarnya H_2S dari hasil analisis ini, merupakan H_2S yang terkandung secara alami dalam gas bumi pada saat mengalir menuju biofilter. Kandungan H_2S terlihat berfluktuasi cukup tajam, yaitu mulai dari sekitar 51,81 mg/l yang terendah sampai kurang lebih 141,47 mg/l yang tertinggi.

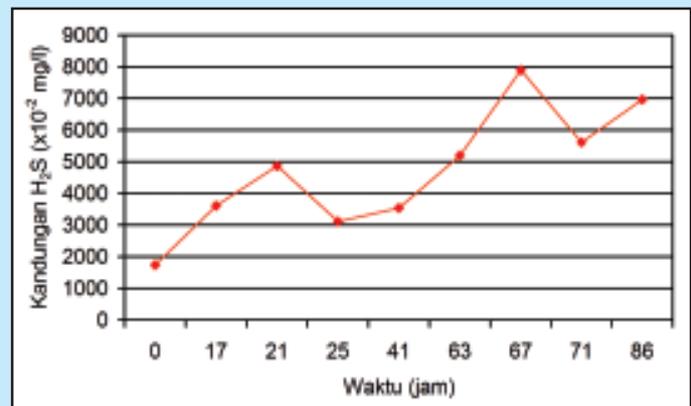
Gas bumi setelah masuk kedalam biofilter akan melalui komponen filter. Di dalam komponen tersebut terjadi degradasi H_2S yang terkandung. Dengan demikian di dalam gas bumi yang keluar dari biofilter, akan terjadi penurunan kandungan H_2S nya.

Besar kandungan H_2S dalam gas bumi setelah keluar dari biofilter dapat dilihat pada Gambar 4. Grafik kandungan H_2S dalam gas bumi terlihat cukup berfluktuasi. Kandungan H_2S yang terendah sekitar 17,47mg/l dan yang tertinggi mencapai kurang lebih 79,06 mg/l.

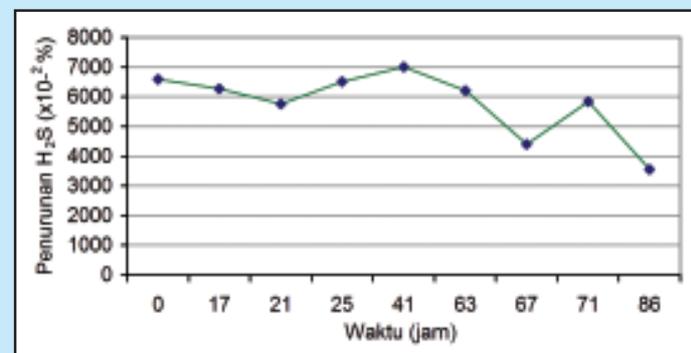
Berdasarkan hasil analisis kandungan H_2S dalam gas bumi dari sampel sebelum dan setelah keluar dari biofilter, dapat dihitung besarnya penurunan kandungan H_2S . Grafik penurunan kadungan H_2S pada perlakuan P-1 dapat dilihat dalam Gambar 5. Selama inkubasi 71 jam penurunan H_2S rata-rata sekitar 60,78%, dan setelah waktu tersebut penurunan H_2S menjadi 35,58%. Dengan demikian, penggunaan komponen biofilter berupa karbon aktif ditambah air



Gambar 3
Grafik kandungan H_2S dalam gas bumi yang akan masuk biofilter pada perlakuan P-1



Gambar 4
Grafik kandungan H_2S dalam gas bumi setelah keluar dari biofilter pada perlakuan P-1



Gambar 5
Grafik penurunan kandungan H_2S dalam aliran gas bumi setelah melalui biofilter pada perlakuan P-1

formasi bawaan dari gas bumi, ternyata mampu menurunkan kandungan H₂S dalam gas bumi sebesar 60% selama kurang lebih tiga hari terus menerus tanpa diganti.

C. Penurunan Hidrogen Sulfida Pada Perlakuan P-2

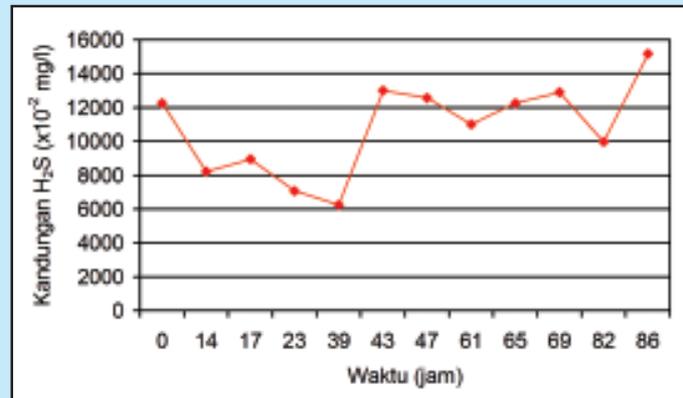
Pada awal perlakuan P-2 komponen biofilter menggunakan karbon aktif ditambah media thiosulfat. Pada jam ke 23 kedalam komponen filter ditambahkan kultur bakteri *T. thioparus*. Dengan demikian pada perlakuan ini mikroorganisme spesifik penurun kandungan H₂S baru digunakan setelah jam ke 23. Selama periode pengujian 86 jam, hasil pengamatan kandungan H₂S dalam gas bumi sebelum masuk biofilter dapat dilihat dalam Gambar 6.

Selama periode pengujian, kandungan H₂S yang terbawa oleh gas bumi sebelum masuk biofilter cukup berfluktuasi. Besarnya kandungan berkisar antara 62,41 mg/l s/d 151,87 mg/l.

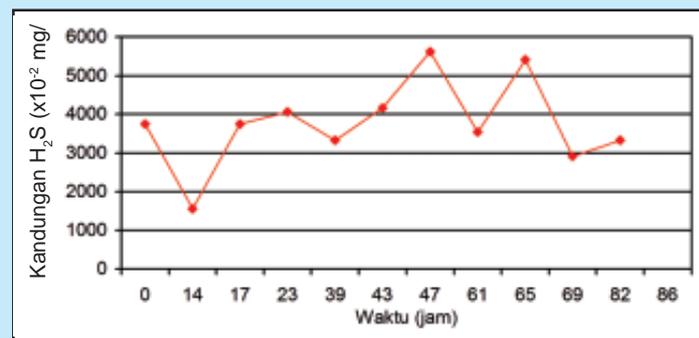
Hasil pengamatan pada perlakuan P-2, kandungan H₂S dalam gas bumi setelah keluar dari biofilter dapat dilihat pada Gambar 7. Selama 86 jam periode pengamatan terlihat fluktuasi kandungan H₂S berkisar antara 15,60 mg/l yang terendah s/d yang tertinggi 56,17 mg/l.

Pada perlakuan P-2 selama 14 jam pertama, penurunan kandungan H₂S drastis menjadi 42,64% pada jam ke 23. Pada periode ini komponen biofilter berisi karbon aktif dan media thiosulfat. Setelah penambahan kultur *T. thioparus* pada jam ke 23, penurunan kandungan H₂S meningkat dengan tajam. Pada jam ke 43 s/d 65, penurunan H₂S rata-rata 61,80%, dan pada periode waktu lebih lanjut meningkat menjadi rata-rata 73.60%. Pada akhir pengamatan penurunan kandungan H₂S dalam gas bumi belum ada tanda penurunan, bahkan masih ada kemungkinan kenaikan (lihat Gambar 8).

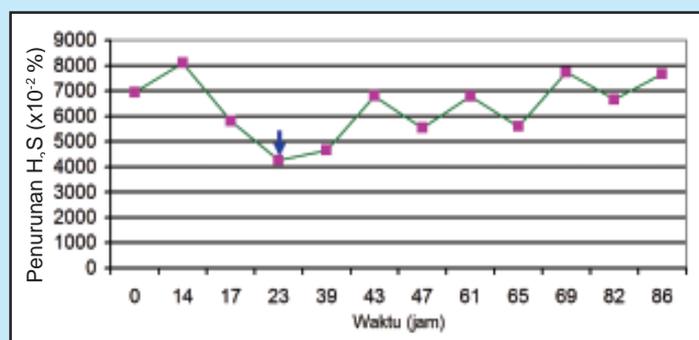
Bila dilihat populasi dari kultur *T. thioparus*, setelah mengalami pengaktifan dan pada waktu akan dimasukkan ke dalam tabung filter populasi sebesar 83 x 10⁷ sel/



Gambar 6
Grafik kandungan H₂S dalam gas bumi sebelum masuk biofilter pada perlakuan P-2



Gambar 7
Grafik kandungan H₂S dalam gas bumi setelah keluar dari biofilter pada perlakuan P-2



Gambar 8
Grafik penurunan kandungan H₂S dalam aliran gas bumi setelah melalui biofilter pada perlakuan (P-2)

ml. Setelah masuk dan siap sebagai komponen biofilter, populasi sedikit menurun menjadi 8×10^7 sel/ml. Pada akhir pengujian populasi kurang lebih sebesar 35×10^7 sel/ml. Dalam hal ini terlihat bahwa kultur *T.thioparus* tetap aktif selama dalam tabung filter untuk digunakan sebagai biofilter.

Penambahan kultur bakteri *T. thioparus* sebagai komponen biofilter, ternyata mempunyai peran cukup nyata dalam menurunkan kandungan H_2S dalam gas bumi. Pada perlakuan P-1 di mana komponen biofilter mikroorganisme berasal dari mikroba bawaan dalam air formasi, ternyata penurunan H_2S rata-rata hanya mencapai 60,78%. Sedangkan pada perlakuan P-2, setelah mendapat penambahan kultur bakteri belerang *T. thioparus* penurunan H_2S meningkat menjadi 73,60%.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibuat suatu unit biofilter sederhana untuk menurunkan kandungan H_2S dalam gas bumi dengan kapasitas aliran gas bumi sekitar 10 s/d 30 l/menit
2. Komponen biofilter berupa karbon aktif, media tumbuh dan mikroorganisme tertentu mempunyai kemampuan untuk menurunkan kandungan H_2S dalam gas bumi
3. Dengan media tumbuh berupa thiosulfat dan kultur bakteri sulfur *T. thioparus* dapat menurunkan

kandungan H_2S dalam gas bumi cukup tinggi, dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai penurun kandungan H_2S dalam gas bumi yang baik

KEPUSTAKAAN

1. Costigan, M.G.2003. Hydrogen Sulfide: UK OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS, *Occup Environ Med*;60;pp308 – 312.
2. Denny, 2004. Penghilangan Emisi Gas H_2S dengan Metode Biofilter menggunakan Media Anorganik. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian-IPB, Bogor.
3. Djatmiko, B., S. Keteren dan S. Setyahartini. 1985. Pengolahan Arang dan Kegunaannya. Agroindustri Press, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB, Bogor.
4. Irawan. 2005. Penghilangan Emisi Gas SO_2 dengan Tenik Biofilter menggunakan *Thiobacillus* sp dengan Media Campuran Arang Aktif dan Kompos. *Skripsi*, Fakultas Teknologi Pertanian –IPB, Bogor
5. Merck Indeks. 1983. Merck & Co. USA
6. Udiharto, 1997. *Desulfurisasi Minyak Bumi dan Medium oleh Thiobacillus thioparus*. Prosseding Temu Karya Pengolahan, Jakarta.
7. Wahyuni, 2004. Penghilangan H_2S dengan Metode Biofilter menggunakan media Kompos dan Arang Aktif yang diinkubasi dengan *Thiobacillus* sp. *Skripsi* Fakultas Teknologi Pertanian – IPB, Bogor. ✓