

**PEMULIHAN SULFUR DARI GAS BUANG YANG MENGANDUNG HIDROGEN SULFIDA
DARI KEGIATAN PLTP DENGAN PROSES BIO DISULFURISASI**
**RECOVERY SULFUR FROM GAS THE EXHAUST CONTAINING HIDROGEN SULFIDA OF
ACTIVITY PLTP WITH PROCESS BIO SULPHURISED**

Misbachul Munir, Krus Haryanto, Novarina IH, Bakti Mariana dan Indrati S
Balai Besar Teknologi Pencogahan Pencemaran Industri Semarang
E mail: mismoen@yahoo.co.id

ABSTRAK

Gas hidrogen sulfida (H_2S) merupakan gas yang tidak berwarna, berbau seperti telur busuk, bersifat racun yang amat berbahaya dan mematikan karena sifatnya yang beracun dan asfiksian. Sumber penghasil gas H_2S antara lain adalah dari kegiatan kilang minyak, gas alam, batubara dan biogas.

Salah satu sumber gas H_2S yang potensial adalah dari kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang mengeluarkan gas H_2S dengan kisaran konsentrasi 4800 – 6600 ppm. Saat ini gas tersebut dibuang begitu saja tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran udara.

Cemaran gas H_2S dalam gas buang kegiatan PLTP dapat dihilangkan (desulfurisasi) dengan cara fisika-kimia dan biologi. Desulfurisasi secara fisika-kimia dapat dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut dan dekomposisi senyawa sulfur, sedang desulfurisasi secara biologi dilakukan dengan Bio-desulfurisasi

Teknologi bio-desulfurisasi telah banyak diterapkan di industri pengolahan minyak bumi maupun industri gas alam, namun belum diterapkan dalam industri PLTP, untuk itu diperlukan penelitian dengan membuat prototipe reaktor bio-desulfurisasi untuk mengolah gas buang H_2S sehingga tidak mencemari lingkungan.

Telah dilakukan penelitian bio-desulfurisasi gas H_2S skala laboratorium dengan hasil sebagai berikut : penangkapan gas H_2S dengan metode oksidasi fase cair (liquid phase oxidation) menggunakan larutan Na_2CO_3 konsentrasi 11 % diperoleh efisiensi penyerapan sebesar 87,86%; proses bio-desulfurisasi menggunakan *Rhodococcus* sp sebanyak 10% menghasilkan kristal sulfur sebanyak 71,28%.

Pembuatan prototipe bio-desulfurisasi terdiri dari dua buah absorber kapasitas 88 liter, satu buah bioreaktor kapasitas 120 liter dan satu buah dekanter kapasitas 30 liter yang dilengkapi dengan pH meter, kompresor dan penyangga. Uji coba lapangan bio-desulfurisasi di PLTP Dieng dengan hasil efisiensi pembentukan kristal sulfur sebanyak 52,01%.

Kata kunci: Gas hidrogen sulfida, pencemaran lingkungan, bio-desulfurisasi, kristal sulfur.

ABSTRACT

Hydrogen sulfide (H_2S) is colorless gas with an offensive rotten egg smell. It is a toxic and flammable gas. Hydrogen sulfide present in crude petroleum, natural gas, coal gas and biogas.

The amount of hydrogen sulfide in natural gas i.e. Geothermal Power Plant (PLTP) Dieng (varies from 4800 – 6600 ppm). Effluent gas hydrogen sulfide, which is directly discharge to the air without treatment, so it can give air pollution potency.

Air pollution due to hydrogen sulfide (H_2S) from PLTP activity can be reduced by desulphurization by physical, chemical and biological process. Physical-chemical desulphurization process by extraction with alkali solution and decomposition sulfur. Biological desulphurization is call bio-desulphurization by microorganism process.

Nowadays, bio-desulphurization has been applied in many petrochemical industries and natural gas industries, but application in PLTP is still rare. However the research about treatment of flue gas containing hydrogen sulfide from PLTP by bio-desulphurization is needed. Moreover the research in designing prototype of bio-desulphurization.

*The research in bio-desulphurization of H_2S has been done, both in laboratory and field experiments. The laboratory experiments has conducted and the results are scrubbing hydrogen sulfide by liquid phase oxidation process with 11 % concentration soda ash solution gives 87,86% efficiency, and bio-desulphurization process by *Rhodococcus* sp in 10% volume gives sulfur crystal yield 71,28 %.*

Bio-desulphurization prototype consists of 2 absorbers, (each absorber has 88 liters capacity) a 120 liters bioreactor, and a decanter. The prototype was equipped with pH meter, air compressor and a supported stand. Field experiments of bio-desulphurization in PLTP Dieng give 52,01% sulfur crystals efficiency yield.

Key words: Hydrogen sulfide gas, environmental pollution, bio-desulphurization, sulfur crystal.

PENDAHULUAN

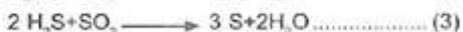
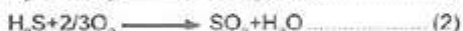
Gas hidrogen sulfida (H_2S) merupakan senyawa yang secara alami terikut dalam kegiatan eksplorasi gas alam dan minyak bumi. Gas hidrogen sulfida (H_2S) adalah gas yang tidak berwarna, berbau seperti telur busuk, beracun, bersifat korosif, iritan pada mata dan saluran pernafasan. Pada konsentrasi rendah, bau dapat tercium dan pada konsentrasi diatas 150 ppm bau tidak dapat tercium karena syaraf penciuman sudah dimatikan. Pada konsentrasi diatas 300 ppm dapat menyebabkan kematian dalam waktu yang singkat (MSDS, 1998).

Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) menggunakan energi uap panas (*steam*) yang berasal dari perut bumi sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan tenaga listrik. Dalam uap panas tersebut selain mengandung air juga mengandung gas buang yang terikut, dan gas buang yang dominan adalah gas hidrogen sulfida (H_2S). Proses pemisahan uap panas dari air dan gas ikutan lainnya, dilakukan dengan menggunakan *silencer*, sehingga diharapkan uap panas yang digunakan sebagai penggerak turbin dapat bebas dari air dan gas-gas. Sisa air dimasukkan dalam balong yang kemudian disuntikkan kembali kedalam perut bumi dan gas buang yang terikut dibuang sebagai emisi gas buang ke udara bebas.

Dari hasil pemantauan pada salah satu kegiatan PLTP di Jawa Tengah, konsentrasi gas buang H_2S berkisar antara 520 – 5.979 mg/m^3 (GDE Dieng, 2008). Konsentrasi ini jauh diatas baku mutu emisi gas buang dari kegiatan PLTP menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2008 (Baku Mutu gas buang $H_2S = 35 mg/m^3$). Dampak negatif yang sudah terjadi pada daerah Dieng dan sekitarnya akibat gas H_2S adalah gangguan bau yang menyengat bagi warga sekitar dan juga para wisatawan yang berkunjung ke kawasan Dieng dan cepat rusaknya atap rumah penduduk di daerah Dieng yang terbuat dari seng akibat korosi.

Penghilangan sulfur (desulfurisasi) dapat dilakukan dengan empat metode, yaitu Clauss proses, oksidasi fase cair (*liquid phase oxidation*), oksidasi gas (*direct gas phase oxidation*), dan secara biologis (Korens et al., 2002).

Clauss proses dapat digunakan untuk pengambilan sulfur konsentrasi H_2S tinggi, dengan reaksi kimia sebagai berikut.



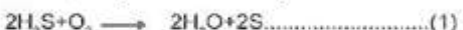
Berdasarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan, Clauss proses dibedakan menjadi tiga kategori :

- Konsentrasi oksigen rendah (< 28% v/v oksigen).
- Konsentrasi oksigen sedang (28-45% v/v oksigen).
- Konsentrasi oksigen tinggi (> 45% oksigen).

Oksidasi fase cair dapat dilakukan dengan cara gas H_2S dilewatkan kedalam larutan tertentu secara penyerapan (*scrubbing*). Menurut Dalrymple, 1989, mekanisme reaksi diawali dengan reduksi ion logam dalam larutan sehingga gas H_2S akan teroksidasi, secara lengkap reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



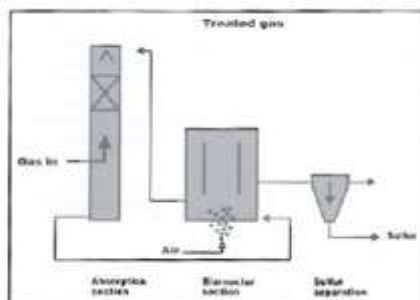
Oksidasi gas secara langsung dapat terjadi pada kondisi reaksi eksotermis menggunakan katalis, dengan reaksi sebagai berikut :



Metode biologi adalah proses desulfurisasi gas H_2S dengan menggunakan bakteri pada suasana aerobik maupun anaerobik. Proses biodesulfurisasi secara aerobik dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri *Thiobacillus sp*, *Rhodococcus sp*, *Beigiatoa sp*, *Thiotrix sp*. Sedangkan secara anaerobik dengan memanfaatkan *Chlorobium sp*, *Chromatium sp* dan *Tiocapsa sp*.

Bio-desulfurisasi merupakan proses penghilangan gas H_2S dengan memanfaatkan mikroorganisme, yaitu dengan mengubah H_2S menjadi sulfur elementer dengan katalis enzim hasil metabolisme mikroorganisme sulfur jenis tertentu, tanpa mengubah senyawa hidrokarbon dalam aliran proses. Reaksi bio-desulfurisasi berjalan secara aerobik yang dilakukan pada kondisi lingkungan yang teraerasi. (Ariani, T., 2007).

Diagram alir proses bio-desulfurisasi dapat dilihat pada gambar berikut.

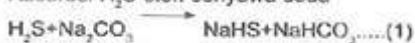


Gambar 1 : Skema proses bio-desulfurisasi

Gas yang mengandung H_2S tersebut dikontakkan dengan pelarut (absorben) dalam reaktor *scrubber tipe bubble column*. Pada kolom ini kontak antar fasa gas dan fasa cair terjadi secara langsung sehingga memungkinkan terjadinya dispersi antar fasa. Menurut Paul N. And R.A. Young (1977) Gas H_2S dapat diserap oleh beberapa larutan penyerap yang bersifat basa seperti larutan $NaOH$ dan Na_2CO_3 . Senyawa soda Na_2CO_3 akan mengabsorpsi gas H_2S dan akan membentuk $NaHS$ yang kemudian dialirkan ke reaktor yang berupa tangki atmosferik teraerasi dimana mikroorganisme akan mengubah senyawa $NaHS$ menjadi sulfur elementer secara biologis dalam kondisi aerob (pH 8,2-9,0). Selanjutnya dengan proses dekantasi sulfur dipisahkan dari larutan soda, dan cairan soda yang diperoleh dikembalikan ke absorber, sedangkan sulfur yang diperoleh sebagai cake atau sebagai sulfur murni. Na_2CO_3 yang diperoleh dari hasil reaksi antara $NaOH$ dengan CO_2 dari udara (blower) dikembalikan lagi kedalam reaktor, sehingga terjadi recycle bahan kimia.

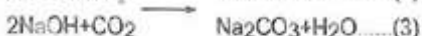
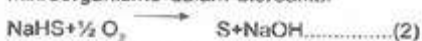
Tahapan reaksi bio-desulfurisasi dapat digambarkan sebagai berikut.

1. Absorpsi H_2S oleh senyawa soda



Reaksi ini terjadi pada langkah absorber

2. Pembentukan sulfur elementer oleh mikroorganisme dalam bioreaktor



Salah satu jenis mikroorganisme yang aktif pada proses bio-desulfurisasi adalah *Rhodococcus* sp. Bakteri ini mempunyai sifat aerobik, non-sporulating, sel bersifat eukariotik. Selain itu juga mempunyai kemampuan untuk mengkatabolisis berbagai senyawa bioaktif dan menghasilkan steroid, akrilamida dan asam akrilik.

Menurut NATCO (2007) penggunaan teknologi bio-desulfurisasi dapat menurunkan konsentrasi gas buang H_2S sampai dengan 90 %, tergantung dari konsentrasi dan spesifikasi gas H_2S yang diolah dan saat ini teknologi bio-desulfurisasi banyak digunakan pada industri peminyakan.

Untuk dapat diterapkan pada kegiatan PLTP dimana dalam proses produksinya juga mengeluarkan gas H_2S dalam jumlah yang cukup besar, maka perlu dilakukan penelitian rancang bangun (prototype) bio-desulfurisasi yang dapat diterapkan (*applicable*) pada kegiatan PLTP sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh gas buang H_2S , sekaligus mendapatkan produk sulfur yang dapat digunakan sebagai bahan baku atau bahan pembantu bagi industri lain.

METODE PENELITIAN

Persiapan

Persiapan meliputi identifikasi senyawa H_2S dari emisi gas buang kegiatan PLTP dilakukan di PT Geo Dipa Energi Unit Dieng (selanjutnya disebut PLTP Dieng), penyiapan mikroorganisme, bahan kimia serta pengujian pendukung dilakukan di Laboratorium Limbah dan Lingkungan, Balai Basar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang.

Pengumpulan data dan identifikasi kualitas gas buang PLTP Pengumpulan data primer dilakukan dengan melakukan survey lapangan dan pengkajian data sekunder yang dimiliki oleh PLTP Dieng. Hal ini diperlukan untuk memastikan dimana lokasi percobaan dilakukan karena di PLTP Dieng terdapat beberapa sumur produksi uap panas yang mengandung H_2S . Selanjutnya identifikasi kualitas gas buang di PLTP Dieng dilakukan dengan pengambilan contoh emisi gas buang kegiatan PLTP Dieng pada *silencer*, untuk mengetahui fluktuasi kualitas gas buang H_2S

dalam satu siklus yang dilakukan beberapa kali. Metode analisis gas buang H_2S mengacu pada SNI – 19 – 7117.7 – 2005. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan studi pustaka, hasil penelitian sejenis terdahulu dan penelusuran bahan dari internet.

Rancang bangun prototype bio-desulfurisasi

Dalam rancang bangun peralatan prototype bio-desulfurisasi yang akan dibuat harus disesuaikan dengan kondisi diatas. Dalam rancang bangun prototype bio-desulfurisasi ini perlu mempertimbangkan data hubungan keselimbangan gas-cair digunakan untuk menetapkan kualitas cairan yang dibutuhkan untuk menyerap jumlah komponen terlarut dari gas, data kapasitas cairan dan gas dari alat yang digunakan untuk menetapkan kebutuhan wilayah *cross-sectional* dan diameter dan rancangan sistem penyerapan gas.

Berdasarkan data-data lapangan yang didapat kemudian dibuat rancang bangun prototype bio-desulfurisasi sebagai berikut, yaitu tipe penangkapan gas H_2S yang digunakan adalah *Liquid Phase Oxidation Process* dan tipe desulfurisasi dengan proses biologi. Setelah proses bio-desulfurisasi ditetapkan maka dibuat rancang bangun untuk membuat prototipe alat bio-desulfurisasi yang terbuat dari bahan stainless-steel, terdiri dari 1 (satu) unit bioreaktor, tangki absorber 2 (dua) unit, decanter 1 (satu) unit yang dilengkapi dengan kompresor 1 PK, gen set kapasitas 2700 watt, alat ukur gas H_2S dan pH meter.

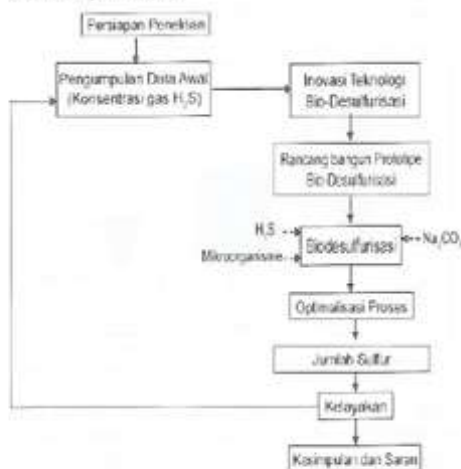
Uji coba prototype bio-desulfurisasi

Berdasarkan fluktuasi konsentrasi gas H_2S yang dihasilkan dari emisi kegiatan PLTP maka uji coba bio-desulfurisasi dilakukan dengan beberapa variabel yaitu konsentrasi larutan penyerap gas H_2S (Na_2CO_3), waktu kontak absorpsi, waktu aerasi dalam bio-reaktor dan jenis mikroorganisme.

Tolok ukur keberhasilan uji coba.

Untuk mengevaluasi tolak ukur keberhasilan uji coba penelitian ini akan dievaluasi pengaruh variabel uji coba terhadap konsentrasi output gas H_2S dan jumlah kristal sulfur yang dihasilkan, sehingga dapat ditentukan proses bio-desulfurisasi yang optimal untuk kegiatan PLTP.

Rancangan Riset

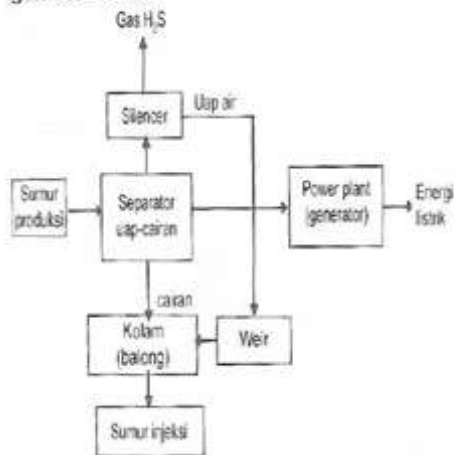


HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian recovery sulfur dari gas buang yang mengandung hidrogen sulfida dari kegiatan PLTP dengan proses bio-desulfurisasi dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng, (PLTP Dieng), yang terletak di kabupaten Wonosobo Provinsi Jawa Tengah. PLTP DIENG dikelola oleh PT GEO DIPA ENERGI UNIT DIENG yang merupakan perusahaan gabungan antara PT. Pertamina (Persero) dan PT. PLN (Persero), yang berkantor pusat di Bandung. Kapasitas terpasang daya listrik yang dihasilkan oleh PLTP Dieng adalah 60 MW dan sampai saat ini produksi listrik baru mencapai 45 - 50 MW.

Uap panas sebagai sumber energi unit pembangkit listrik dieksplotasi dari 4 sumur produksi yaitu Pad 7, Pad 9, Pad 28 dan Pad 31. Uap panas yang dihasilkan dari sumur produksi tersebut masih bercampur dengan cairan dan gas-gas ikutan seperti H_2S , SO_2 dan CO_2 dan disertai suhu tinggi sekitar 120 °C. Gas-gas tersebut bersifat racun, iritan, korosif dan dapat menimbulkan hujan asam. Untuk itu sebelum digunakan untuk menggerakkan turbin di power plant, perlu dilakukan pemisahan atau separasi antara uap dan cairan ikutannya. Dari unit separasi uap ini cairan ikutan akan ditampung pada unit penampung berupa balong-balong dan uap panas yang sudah terpisah masih mengandung polutan gas (H_2S , SO_2 dan CO_2)

Disamping ke empat sumur produksi diatas PLTP Dieng masih mempunyai 1 (satu) sumur produksi (Pad 18) dimana pad 18 ini difungsikan sebagai miniatur PLTP dimana semua proses produksi, mulai dari eksploitasi uap panas, proses separasi uap sampai turbin mini dan daya listrik yang dihasilkan, ada di lokasi tersebut. Kapasitas daya listrik yang dihasilkan sebesar 3 (tiga) KW dengan tegangan sebesar 220 Volt. Secara garis besar proses produksi PLTP Dieng dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3 . Diagram Alir Proses Produksi Daya Listrik PLTP Dieng

Hasil identifikasi kualitas gas buang PLTP Dieng yang dilakukan oleh PT Geo Dipa Energi pada tahun 2008 meliputi gas H₂S, SO₂ dan CO₂ diperoleh hasil seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kualitas emisi gas yang berasal dari silencer

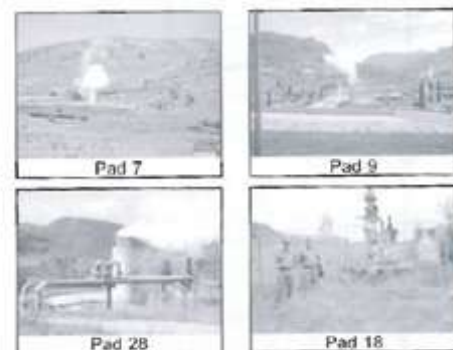
No	Pollutan	Satuan	Silencer Pad 7	Silencer Pad 9	Silencer Pad 28	Silencer Pad 18
1.	Hydrogen Sulphida (H ₂ S)	mg/Nm ³	3059,3	4171,8	5979,6	3489,0
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	mg/Nm ³	158,56	158,11	143,57	Trace
3.	Karbon Dioksida (CO ₂)	%	5,00	1,50	0,08	11,30

Sumber:PT. Geo Dipa Energi, 2008

Dari tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi gas H₂S pada beberapa sumur produksi yaitu Pad 7, Pad 28, Pad 9 dan Pad 18, berkisar antara 3059,3 – 5879,7 mg/Nm³. dan

konstruksi gas H₂S tertinggi dihasilkan dari Pad 28 yaitu sebesar 5979,6 mg/Nm³. Dari hasil tersebut jika dibandingkan dengan baku mutu emisi, konsentrasi gas H₂S tersebut jauh diatas baku mutunya yaitu sebesar 35 mg/Nm³. Dari aspek lingkungan, tingginya gas H₂S yang diemisikan dari kegiatan PLTP dapat menyebabkan gangguan kenyamanan, kesehatan dan dapat menyebabkan korosi atap rumah penduduk di sekitar lokasi yang terbuat dari seng.

Gambar sumur produksi di PLTP dieng seperti pada gambar 4 dibawah ini.

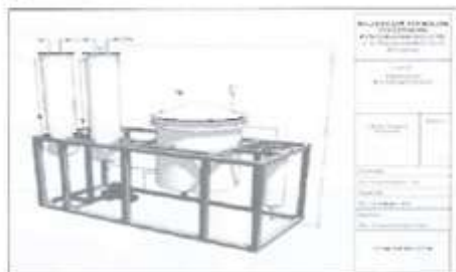


Gambar 4:Sumur Produksi (Pad) PLTP Dieng Berdasarkan kajian potensi gas H₂S di PLTP Dieng, saran PT. Geo Dipa Energi dan pertimbangan keamanan, lokasi penelitian ditetapkan di sumur produksi (Pad) 18. Selanjutnya dilakukan pengukuran potensi kadar gas H₂S dari sumur tersebut, dan hasilnya ditabulasikan pada tabel 3.

Tabel 3 : Konsentrasi gas H₂S di Pad 18

Waktu	Kadar gas H ₂ S (ppm)	Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi PLTP (ppm)
Tanggal 15 September 2009		
10.00	5200	35
13.00	4800	35
16.00	6600	35
Tanggal 16 September 2009		
10.00	6500	35
13.00	6300	35
16.00	5600	35

Berdasarkan data diatas kemudian dibuat rancangan prototipe alat bio-desulfurisasi yang terdiri dari 3 (tiga) alat utama yang meliputi absorber, bioreaktor dan decanter. Rancangan masing-masing alat disesuaikan dengan prinsip unit operasinya dan disajikan pada gambar berikut.

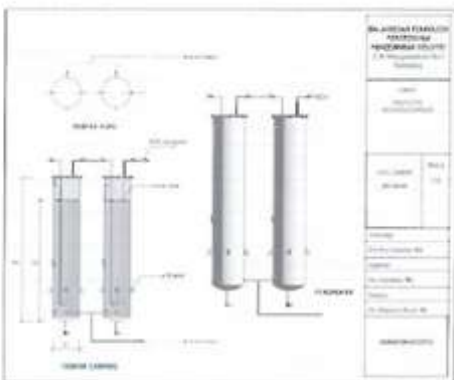


Keterangan :
 1 = Tangki Absorber
 2 = Bio Reaktor
 3 = Decanter

Gambar 5. Rancangan Prototipe Alat Bio-desulfurisasi

Tangki Absorber

Absorber berfungsi untuk menyerap gas H_2S dari emisi sumur produksi di PLTP dengan larutan penyerap (absorban) Na_2CO_3 . Absorber berupa menara gelembung dengan volume 88 liter, tinggi 150 cm, dan diameter 30 cm. Untuk menyempurnakan proses penyerapan tangki absorber, dirancang 2 unit yang dipasang secara seri. Dengan pertimbangan bahwa gas H_2S bersifat korosif, maka bahan absorber dibuat dari baja tahan karat dengan grade yang tinggi yaitu Stainless Steel S. 306.



Bioreaktor

Bioreaktor berfungsi sebagai tempat terjadinya perubahan senyawa $NaHS$ menjadi sulfur elementer dengan katalis enzim hasil metabolisme mikroorganisme sulfur (*Rhodococcus sp.*) Kondisi operasi dalam bioreaktor adalah pH 8,2 – 9,0 dan suasana aerobik. Apabila pH turun akibat proses biodesulfurisasi, maka perlu dilakukan penyesuaian pH (penambahan $NaOH$). Kristal sulfur yang terbentuk akan mengalir secara gravitasi ke decanter. Bioreaktor dirancang dengan ukuran diameter 450 mm dan tinggi 750 mm dan kapasitasnya 120 liter dilengkapi pH meter dan kompresor



Decanter

Decanter berfungsi untuk memisahkan sulfur dari larutan soda. Dalam decanter terjadi proses pemisahan sulfur secara gravitasi. Kapasitas decanter dirancang 30 liter, dengan diameter 200 mm dan tinggi 800 mm



Dalam penelitian ini larutan penyerap gas H_2S digunakan larutan Na_2CO_3 , dengan pertimbangan larutan Na_2CO_3 merupakan larutan yang tidak bersifat toksis bagi mikroba dalam bioreaktor, bersifat stabil, tidak mudah menguap, tidak korosif dan harga yang terjangkau. Konsentrasi larutan Na_2CO_3 yang

digunakan bervariasi antara 5 % : 7,5 % : 10 % dan 11 %. Untuk mengetahui kemampuan hidup mikroba dalam larutan Na_2CO_3 dilakukan percobaan dengan menginokulasikan mikroba dalam larutan penyerap Na_2CO_3 . Hasil uji kemampuan hidup mikroba (*Rhodococcus sp* dan *Thiobacillus sp*) pada larutan Na_2CO_3 tersaji pada tabel 4

Tabel 4. Kemampuan Hidup *Rhodococcus sp* dan *Thiobacillus sp* dalam larutan Na_2CO_3

No	Jenis mikroba	Jam pengamatan ke- (jumlah mikroba CFU/ml)			
		Larutan Penyerap 0	2	4	6
1.	<i>Rhodococcus sp</i> Na_2CO_3 5%	3×10^3	2×10^4	8×10^1	2×10^2
2.	<i>Rhodococcus sp</i> Na_2CO_3 10%	5×10^3	9×10^3	8×10^2	2×10^2
3.	<i>Thiobacillus sp</i> Na_2CO_3 5%	2×10^1	8×10^2	5×10^2	80
4.	<i>Thiobacillus sp</i> Na_2CO_3 10%	7×10^1	3×10^1	1×10^1	27

Sumber: Data Primer BBTPI, 2009

Dari hasil tabel 4 diatas menunjukkan bahwa *Rhodococcus sp* mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dalam larutan Na_2CO_3 lebih baik daripada *Thiobacillus sp*. Untuk selanjutnya pada uji coba lapangan hanya digunakan mikroba *Rhodococcus sp* untuk pembentukan sulfur elementer dalam bioreaktor.

Pelaksanaan uji coba meliputi penyerapan gas H_2S oleh absorber Na_2CO_3 , kemudian dilanjutkan dengan perubahan NaHS (hasil penyerapan gas H_2S dengan larutan Na_2CO_3) oleh mikroorganisme (*Rhodococcus sp*) dalam bioreaktor baik dalam laboratorium maupun skala lapangan. Pada proses penyerapan gas H_2S variabel yang digunakan adalah konsentrasi Na_2CO_3 dan waktu penyerapan, sedang proses perubahan NaHS oleh mikrobia variabel yang digunakan adalah waktu kontak. Sulfur yang terbentuk dalam bioreaktor akan mengalir secara *overflow* masuk ke dekanter. Kegiatan uji coba lapangan dapat dilihat pada gambar 7.



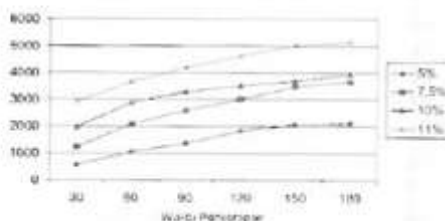
4

Hasil proses penyerapan gas H_2S oleh Na_2CO_3 dengan variabel konsentrasi 5%; 7,5 % ; 10% dan 11%, serta waktu penyerapan selama 30; 60; 90; 120; 150 dan 180 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5: Kadar rata-rata NaHS (ppm) pada berbagai konsentrasi dan waktu penyerapan

Konsentrasi	Waktu penyerapan (menit)					
	Hasil NaHS (ppm)					
	30	60	90	120	150	180
Na_2CO_3 5 %	560	1073	1375	1540	2072	2130
Na_2CO_3 7,5 %	1232	2100	2588	2995	3483	3645
Na_2CO_3 10%	1992	2659	3260	3489	3675	4122
Na_2CO_3 11%	2912	3559	4195	4809	5017	5125

Sumber: Data Primer BBTPI, 2009.



Gambar: Grafik Kadar NaHS

Dari hasil uji coba lapangan penyerapan gas H_2S dengan larutan Na_2CO_3 diperoleh hasil yang maksimal selama 180 menit dan diperoleh hasil sebagai berikut :

- Konsentrasi 5 % : 36.52 %
- Konsentrasi 7,5 % : 62.48 %
- Konsentrasi 10 % : 70.67 %
- Konsentrasi 11 % : 87.86 %

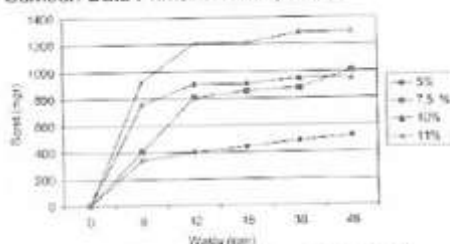
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan Na_2CO_3 semakin banyak NaHS yang diserap dan pada konsentrasi 11 % dapat menurunkan konsentrasi gas H_2S sebesar 87,86 %. Dengan hasil ini berarti bila konsentrasi emisi gas H_2S dari kegiatan PLTP berkisar antara 4800-6600 ppm maka dengan proses absorpsi tersebut gas H_2S yang diemisikan ke udara ambient berkurang menjadi 582-801 ppm.

Pada percobaan skala laboratorium pembentukan hasil kristal sulfur yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Hasil Pembentukan Kristal Sulfur pada Berbagai Konsentrasi (gram)

Konsentrasi	Waktu Bio-desulfurisasi (jam)					
	0	6	12	18	36	60
5 %	0	344,11	405,20	441,94	483,31	519,83
7,5 %	0	405,32	603,21	630,57	610,68	1020,37
10 %	0	753,25	909,03	939,61	961,23	948,11
11 %	0	1025,26	1209,54	1211,03	1287,45	1288,91

Sumber: Data Primer BBTPTI, 2009.



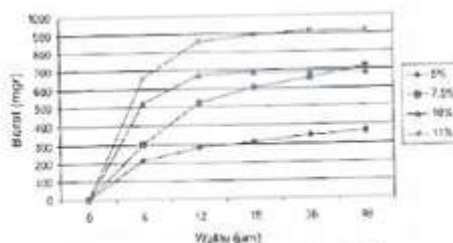
Gambar: Grafik Pembentukan Kristal Sulfur

Dari hasil uji coba bio-desulfurisasi skala laboratorium selama 48 jam diperoleh hasil optimal kristal sulfur yang terbentuk sampai dengan jam ke-12 rata-rata sebesar 71,28 %.

Pada pelaksanaan lapangan hasil kristal sulfur yang terbentuk dalam reaktor bio-desulfurisasi ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel 7: Berat kristal sulfur yang dihasilkan (gram) dengan variabel konsentrasi Na_2CO_3 dan waktu aerasi

Konsentrasi	Waktu dalam reaktor (jam)					
	0	6	12	18	36	48
5 % Na_2CO_3	0	216,8	287,7	313,8	347,4	369,1
7,5 % Na_2CO_3	0	308,4	522,1	603,9	650,9	712,4
10% Na_2CO_3	0	523,5	673,4	682,5	684,9	682,6
11% Na_2CO_3	0	656,9	658,8	906,2	914,1	915,1



Gambar: Grafik Pembentukan Sulfur

Dari hasil uji coba kristalisasi di lapangan menunjukkan bahwa proses bio-desulfurisasi sangat aktif pada jam ke 6 sampai jam ke 12 yang ditunjukkan dengan terbentuknya kristal sulfur yang optimal dengan efisiensi rata-rata sebesar 52,01 %. Setelah jam ke 12 peningkatan jumlah kristal sulfur yang terbentuk relatif konstan (tidak ada peningkatan yang signifikan). Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan *Rhodococcus sp* dalam proses bio-desulfurisasi setelah jam 12 sudah tidak efisien lagi, dan kemungkinan disebabkan konsentrasi NaHS yang digunakan oleh bakteri *Rhodococcus sp* sebagai bahan baku pembentukan kristal sulfur telah berkurang.

Pembentukan kristal sulfur pada skala laboratorium rata-rata sebesar 71,28 %, lebih tinggi dibanding uji coba lapangan sebesar 52,01%, hal tersebut kemungkinan disebabkan beberapa hal, antara lain :

- Kondisi lingkungan berupa temperatur udara uji coba laboratorium berkisar antara 25 – 30 °C, sedangkan di PLTP Dieng berkisar antara 10 – 20 °C. Rendahnya temperatur di lapangan tersebut dapat menyebabkan penurunan aktifitas metabolisme *Rhodococcus sp* dalam memanfaatkan NaHS untuk membentuk kristal sulfur, hal tersebut berkaitan dengan kinerja enzimatis, dimana reaksi enzimatis akan lebih cepat apabila ada peningkatan temperatur, selama peningkatan temperatur tersebut tidak melampaui temperatur maksimal yang dapat menyebabkan terjadinya denaturasi protein enzim.
- Pengaturan aerasi di lapangan lebih sulit dibandingkan uji coba di laboratorium. Hal tersebut disebabkan karena pelaksanaan uji coba lapangan menggunakan media yang lebih banyak, sehingga kolom larutan

yang diaerasi lebih tinggi maka diperlukan tekanan udara yang lebih tinggi. Peningkatan tekanan udara yang dimasukkan dalam bioreaktor dapat menyebabkan hilangnya kristal sulfur karena terdifusi ke udara.

- c. Pengambilan kristal sulfur dalam prototype reaktor bio-desulfurisasi lebih sulit dibandingkan uji coba laboratorium menggunakan beker glass, sehingga hasil yang diperoleh dari uji coba lapangan dengan konversi volume yang sama lebih rendah dibanding uji coba laboratorium.
- d. Perbedaan kemampuan penempelan kristal sulfur sebagai akibat dari perbedaan penggunaan bahan untuk uji coba laboratorium yang menggunakan beker glass (kaca) dibanding stainlesssteel untuk uji coba lapangan.

Perhitungan Tekno Ekonomi

Perhitungan tekno ekonomi didasarkan pada perbandingan biaya produksi dengan hasil yang diperoleh.

- a. Kondisi operasi satu kali produksi (batch)
- Kadar H_2S : 4800 – 6600 ppm
 - Konsentrasi Na_2CO_3 : 11 %
 - Make up larutan penyerap : 10 %
 - Volume bioreaktor: 120 Liter
 - Starter mikroba: 10% Volume
 - Make up starter mikroba: 10%
 - Aliran gas masuk: 500 liter/menit
 - Waktu kontak: 180 menit
 - Efisiensi penangkapan gas H_2S : 87,86 %
 - Waktu aerasi: 120 menit
 - Efisiensi pembentukan kristal: 52,01%
 - Kristal sulfur yang diperoleh: 858,8 gram
 - Harga kristal sulfur: Rp. 2.700,-/ kg
- b. Perhitungan biaya bahan
- Kebutuhan Na_2CO_3 awal:
= (120-12) L x (11 gr/L) x Rp. 800,00 /kg = Rp. 950,4 H^o Rp. 950,00
 - Make up penyerap (10% Vol tiap 6 jam)
= 12 L x 11 g/L x Rp. 800,00/kg = Rp. 105,6 H^o Rp. 105,00
 - Kebutuhan starter:
10% x 120 L = 12 L Kebutuhan Media + Biakan *Rhodococcus sp* : Rp. 50.000,-
 - Make up mikroba 10 % tiap 24 jam
= 10% x Rp. 50.000,- = Rp. 5.000,00

- Listrik:
100 Watt x 2 jam x Rp. 700,00/KWh =Rp. 140,00/2 jam
- Perhitungan biaya produksi awal:
= (Na_2CO_3 awal + starter awal+ listrik selama 2 jam) = Rp. 950,00 + Rp. 50.000,00,- + Rp. 140 = Rp. 51.090,-
- Perhitungan biaya produksi tidak tetap tiap jam:
= make up Na_2CO_3 + make up mikro + listrik = Rp. 18,00 + Rp. 209,- + Rp. 35,00 = Rp 262,00
- Biaya produksi per hari
Biaya produksi tiap bulan = (Biaya awal + biaya produksi tidak tetap selama sebulan)
= Rp. 51.090,00 + (Rp. 262,00 x 24 jam x 30) = Rp. 239.730,00

c. Perhitungan hasil

- Kristal sulfur yang diperoleh :
858,8 gram/2 jam = 429,4 gr/jam Produksi perbulan (24 jam operasi) Produk sulfur = 24 x 30 x 429,4 gram = 308.880 gram/ bulan
- Pendapatan per bulan = 308.880 kg x Rp. 2.700,-/ kg = Rp. 833.976,00
- Keuntungan per bulan = (Pendapatan – biaya bahan) per bulan = Rp. 833.976,00- Rp. 239.730,00 = Rp. 594.246,00

KESIMPULAN

Konsentrasi gas H_2S emisi *silencer* kegiatan PLTP Dieng berkisar antara 4800 - 6600 ppm dan konsentrasi gas ini jauh diatas baku mutu emisi sebesar 35 ppm. Penangkapan gas H_2S menggunakan metode fase cair (*liquid phase oxidation*) dengan pelarut Na_2CO_3 dihasilkan konsentrasi kelarutan maksimum 11%, dan penangkapan gas H_2S maksimum dihasilkan NaHS sebesar 5125 ppm, dengan lama waktu kontak selama 180 menit. Dengan proses ini dapat menurunkan konsentrasi gas H_2S sebesar 87,86%. Penggunaan mikroba *Rhodococcus sp* mempunyai kemampuan lebih baik untuk tumbuh dan berkembang dalam media yang mengandung Na_2CO_3 dibandingkan *Thiobacillus sp*. Uji coba pada skala laboratorium pembentukan kristal sulfur setelah jam ke-12 diperoleh hasil optimal rata-rata sebesar 71,28 %. Sedangkan dari hasil uji coba lapangan menggunakan prototype bio-

desulfurisasi diperoleh hasil kristal sulfur optimal rata-rata sebesar 52,01 %. Kajian ekonomi menunjukkan bahwa keuntungan yang diperoleh untuk satu bulan operasional adalah Rp. 594.246,00

Daftar Pustaka

- Anonim, 1991 : *Soda Ash Storage and Handling*, FMC Wyoming Corporation, http://www.fmcchemicals.com/division_alkalichemicals.asp, ,
- 2008 : *Biological H₂S Removal From Biogas*, Environmental Technology Verification Program, Natco, Netherlands.
- 2008 : *Shell Paques Process*, Applied and Environmental Microbiology, U.S National library of Medicine, USA.
- 2008, *Consider Improve Scrubbing Designs for Acid Gases*, www.HydrocarbonProcessing.com,
- *Rhodococcus*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Rhodococcus>.
- 2009, *Kumpulan Peraturan Perundang-undangan Tentang Pertambangan, Energi dan Migas*, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Alex B., 2004 : *Biological Process Removes Sulfur from Three Refinery Streams*, Shell global Solution International B.U. Amsterdam, Netherland.
- Anni T., 2008 : *Penyingkiran Sulfur dari Aliran Proses dengan Bio- Desulphurisation*, Waster Pertamina, Jakarta.
- Cameron, C; A. Hoksberg and Albert. D. 2003 : *Biological Process for H₂S Removal From Gas Streams*, The shell-Paques, Gas Desulfurization Process, Paper for the I.RGCC, Norman, Oklahoma, USA.
- Chen, L. Huang, James dan Lu Yang, 2001, *Absorption of H₂S in NaOCl Caustic Aqueous Solution*.
- Greenhouse Gas Technology Center Southern Research Institute, 2004, *Paques Thiopaq and Shell Paques Gas Purification Technology*, US EPA.
- Harihastuti, N., dkk, 2006, *Disain dan Rekayasa Alat Penanganan Gas Buang Sulfida (H₂S) dari Emisi Silincer Separator pada Unit Sumur Produksi PLTP Dieng*, BBT PPI Semarang
- Levenspiel, O., 1972, *Chemical Reaction Engineering*, Jhon Wiley and Sons. Inc., New York.
- Kanchanatavee, et al, 1994, *Determination of Mass Transfer Coefficient (K_{ga}) using H₂S Gas Absorption into Aqueous NaOH Solution in a Packed Column of a Novel Porous Packing for Microbial Deodorng*, Suranaree J.Sci. Technol. Vol. 1 No.2
- Ravichandra et al, 2006, *Sulfide Oxidation in a Batch Fluidized Bed Bioreactor*, Journal of Engineering Science and Technology
- Smith, J.M, 1981, *Chemical Engineering Kinetics*, Mc.Graw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Soemanto, I., 1998, *Lembar Data Keselamatan Bahan Vol 1 (MSDS)*, Puslitbang Kimia Terapan, LIPI Bandung.